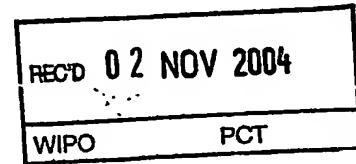


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP 04 / 10939

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 45 772.0

Anmeldetag: 01. Oktober 2003

Anmelder/Inhaber: BASF Aktiengesellschaft, 67063 Ludwigshafen/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol

IPC: C 07 D, C 12 N, C 12 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

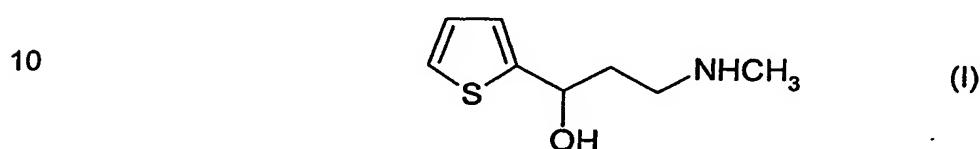
Schmidt C.

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol

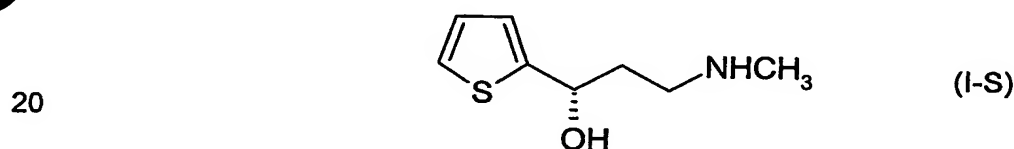
Beschreibung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I

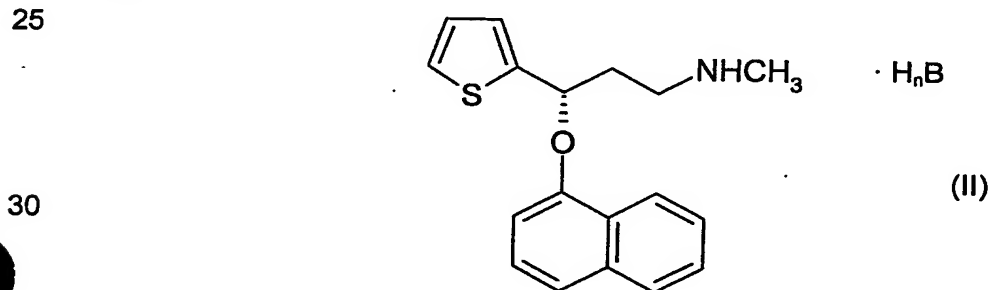


15 und insbesondere ein Verfahren zur Herstellung des S-Enantiomers I-S.

Das S-Enantiomer des Aminopropanols I der Formel I-S



25 ist eine wichtige Vorstufe für die Synthese des Antidepressivums Duloxetine der Formel II



- 35 worin B für einen n-fach negativ geladenen anorganischen oder organischen Säurerest steht und H_nB für eine pharmazeutisch verträgliche Säure.

Verfahren des Standes der Technik zur Herstellung von Duloxetine bzw. ihrer korrespondierenden Base sind aufwendig und erfordern den Einsatz chiraler Reagenzien
40 oder chiraler Edukte.

So beschreibt die EP-B-0273658 ein Verfahren zur Herstellung der korrespondierenden Base von Duloxetine durch Umsetzung von 2-Acetylthiophen in einer Mannich-

AE 20030348 Dp/135/712/58 01.10.2003

M/44142

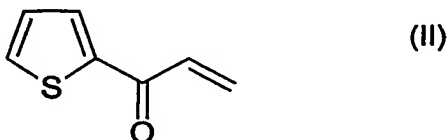
Reaktion mit Formaldehyd und Dimethylamin, Reduktion der Ketogruppe der dabei erhaltenen Mannich-Base zum racemischen (S)-3-N,N-Dimethylamino-1-(thien-2-yl)propan-1-ol, Veretherung der Alkoholfunktion mit Naphthylfluorid und schließlich Umwandlung der Dimethylamino-Gruppe in eine Methylamino-Funktion. Das ge-

5 wünschte Enantiomer des Naphtylethers erhält man durch Einsatz chiraler Ausgangsmaterialien oder durch Racemattrennung auf der Stufe des Endprodukts, beispielsweise über die Salze mit optisch aktiven Säuren oder Chromatographie an einer chiralen stationären Phase.

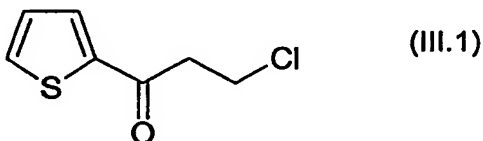
10 Die US-5,362,886 beschreibt ein analoges Verfahren, bei dem das nach Reduktion der Ketogruppe erhaltene racemische Propanol mit S-Mandelsäure versetzt wird. Das hierbei erhaltene S-Enantiomer des Alkohols wird in die nachfolgenden Reaktionsstufen eingesetzt.

15 Die EP-A-0457559 beschreibt ebenfalls ein der EP-B-0273658 analoges Verfahren. Hierbei wird die Ketogruppe der Mannich-Base mit dem asymmetrischen Reduktionssystem LAH-Icb (Lithiumaluminiumhydrid-[(2R,2S)-(-)-4-Dimethylamino-1,2-diphenyl-3-methyl-2-butanol]) zum Alkohol in Form des S-Enantiomers reduziert. Nachteilig hierbei ist neben den Kosten die Empfindlichkeit des Reduktionssystems LAH-Icb, das nur
20 wenige Minuten stabil ist.

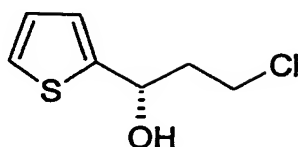
Auch W. J. Wheeler und F. Kuo beschreiben in Journal of Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals, Band XXXVI, Nr. 3, Seite 213 bis 223 ein Verfahren zur Herstellung von Duloxetine. Hierzu wird Thiophen-2-carbonsäurechlorid in einer Stille-
25 Kopplung mit Vinyl-tri-n-butylstannan in Gegenwart katalytischer Mengen Benzylchlorbis(triphenylphosphin)palladium(II) in DMPU (Dimethylpropylenharnstoff) zu 1-(Thien-2-yl)-propenon der Formel II



umgesetzt, welches anschließend durch Behandlung mit Chlorwasserstoff in 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-ol der Formel III.1



40 überführt wird. Das so erhaltene Chlorpropanon III.1 wird anschließend unter Verwendung eines chiralen Oxazaborolidins und BH_3 zu (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-ol der Formel IV.1-S



(IV.1-S)

5

reduziert. Der so erhaltene Alkohol IV.1-S wird durch sukzessive Umsetzung mit Natriumiodid und anschließend mit Methylamin in (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I-S überführt. Durch nachfolgende sukzessive Umsetzung mit Natriumhydrid, 1-Fluornaphtalin und Chlorwasserstoff erhält man Duloxetine in Form des Hydrochlorids. Von Nachteil ist hierbei zum einen, dass zur Herstellung des Chlorpropanon-
Zwischenprodukts III.1 zahlreiche Schritte und teure Reagenzien erforderlich sind. Zum anderen wird bei der Überführung des Chlorpropanons III.1 in den Aminoalkohol das Chlorpropanol IV.1-S isoliert. Untersuchungen der Anmelderin haben jedoch gezeigt, dass dieses Chlorpropanol empfindlich ist und sich in einer stark exothermen
Reaktion leicht zersetzt, was nicht nur zu Ausbeuteverlusten bezüglich des Aminoalkohols führt, sondern auch die Handhabung der Reaktion in technischem Maßstab erschwert.

15

Verfahren zur Herstellung des von W. J. Wheeler et al. beschriebenen, bei der Synthese von Duloxetine als Zwischenprodukt auftretenden 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ols sind literaturbekannt. Nachteilig bei den bekannten Verfahren des Standes der Technik ist jedoch, dass entweder das Chlorpropanon III.1 in schlechter Ausbeute anfällt oder mit schwierig handzuhabenden Reagenzien gearbeitet werden muss. So beschreiben A. Etienne et al. in CR Acad. Sci., Ser. C, 1979, 288 (1), 49-52, die Herstellung des Chlorpropanons III.1 durch Friedel-Crafts-Reaktion von Thiophen mit 3-Chlorpropionylchlorid in Gegenwart von Aluminiumtrichlorid als Lewisäure-Katalysator und in Nitromethan als Lösungsmittel. Das Chlorpropanon III.1 wird in einer Ausbeute von nur 7% erhalten. Auch die entsprechende, von Liu et al. in Chirality, 12, 26-29 (2000), beschriebene Umsetzung in Gegenwart von Zinntetrachlorid als Lewisäure-Katalysator und Benzol als Lösungsmittel führt zu unbefriedigender Ausbeute. Meth-Cohn et al. beschreiben in Acta Chem. Scand. B 20 (6), 1577-1587 (1966) die entsprechende Friedel-Crafts-Acylierung an Thiophen in Gegenwart von Eisen(III)chlorid bzw. Aluminiumtrichlorid, wobei das Chlorpropanon III.1 in mäßigen bis guten Ausbeuten entsteht. Nachteilig ist hierbei, dass als Lösungsmittel Schwefelkohlenstoff verwendet werden muss.

20

25

30

35

Kamal, G. B. R. Khanna, R. Ramu und T. Krishnaji beschreiben in Tetrahedron Lett. 44, 2003, 4783-4787 die Herstellung der Duloxetine-Vorstufe (S)-3-Hydroxy-3-(thien-2-yl)-propanitril durch Acetylierung von Thiophen mit Chloracetylchlorid, Reduktion des Ketons mit Natriumborhydrid zum racemischen Alkohol, Substitution des Chlorrestes durch Cyanid und Umsetzung des racemischen Nitrilalkohols mit Vinylacetat in Gegenwart einer Lipase aus Pseudomonas cepacia (immobilisiert auf Diatomit), wobei die Lipase selektiv die Veresterung des R-Enantiomers katalysiert, so dass das gewünschte S-Enantiomer, welches unverestert bleibt, in reiner Form isoliert werden kann. Von

40

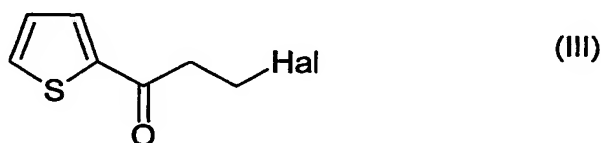
Nachteil ist hierbei zum einen die große Anzahl an erforderlichen Reaktionsschritten und zum anderen der Verlust der Hälfte des Nitrilalkohols, da der veresterte R-Anteil nicht weiter zu Duloxetine umgesetzt wird.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es daher, ein Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I bereitzustellen, welches die hier geschilderten Nachteile des Standes der Technik überwindet. Zudem sollte es die Verbindung I in guter Gesamtausbeute liefern und insbesondere auch die enantioselektive Herstellung des S-Enantiomer I-S erlauben.

10

Die Aufgabe wurde dadurch gelöst, dass man zunächst Thiophen in einer Friedel-Crafts-Reaktion mit einem β -Halogenpropionsäurehalogenid oder einem Acrylsäurehalogenid in Gegenwart einer Lewisäure umsetzt, wobei man vor der Isolierung des Reaktionsprodukts einen Halogenwasserstoff einleitet. Anschließend reduziert man die Ketogruppe des dabei erhaltenen 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ols der Formel III

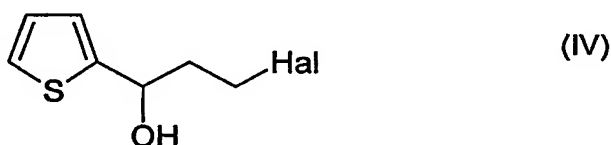
15



20

Hal = Halogen

und setzt das reduzierte Produkt der Formel IV

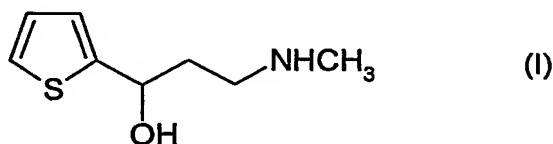


25

mit Methylamin um.

30

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist daher ein Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I



35

bei dem man

40

- a) Thiophen mit einem β -Halogenpropionsäurehalogenid oder einem Acrylsäurehalogenid in Gegenwart einer Lewis-Säure zu einem 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-on umsetzt, wobei man gleichzeitig oder nach erfolgter Umsetzung, jedoch vor der Isolierung des Reaktionsprodukts, einen Halogenwasserstoff einleitet und

- b) das in Schritt a) erhaltene Propanon reduziert und anschließend, vorzugsweise ohne Isolierung des Reaktionsprodukts, mit Methyamin umsetzt.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren liefert die Zielverbindung I in guten Gesamtausbeuten. Die Herstellung der Halogenpropanon-Zwischenstufe III ist zudem nicht an den Einsatz teurer zinnorganischer Reagenzien gekoppelt. Das schwierig handzuhabende Halogenpropanol IV braucht nicht isoliert zu werden. Zudem erlaubt das Verfahren in einfacher Weise eine enantioselektive Herstellung des S-Enantiomers I-S, indem man
- 10 die Reduktion der Halogenpropenon-Zwischenstufe III in Gegenwart eines chiralen Katalysators oder eines chiralen Reduktionsmittels durchführt, welche eine Selektivität bezüglich der Bildung von (S)-3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I-S aufweisen.

- 15 „Enantioselektivität“ im Rahmen der vorliegenden Erfindung bedeutet, dass der Enantiomerenüberschuss ee (in %) des S-Enantiomers, der sich in bekannter Weise berechnet nach:

$$ee (\%) = \frac{\text{S-Enantiomer} - \text{R-Enantiomer}}{\text{S-Enantiomer} + \text{R-Enantiomer}} \times 100$$

- 20 wenigstens 50 %, vorzugsweise wenigstens 80 %, insbesondere wenigstens 90 % und speziell wenigstens 95 % beträgt.

- 25 Durch das Einleiten eines Halogenwasserstoffs während oder vorzugsweise nach erfolgter Acylierung, jedoch vor der Isolierung des Reaktionsprodukts, erhält man als Endprodukt des Schrittes a) im Wesentlichen kein 1-Thien-2-yl-propenon II, welches bei den Verfahren des Standes der Technik stets als Nebenprodukt auftritt und die Ausbeute an gewünschtem Acylierungsprodukt III schmälert.

- 30 Als Lewis-Säure kommen kovalente Metallhalogenide und Halbmetallhalogenide, die eine Elektronenpaarlücke aufweisen, in Betracht. In der Regel sind sie ausgewählt unter Halogenverbindungen des Titans, Zinns, Aluminiums, Vanadiums, Eisens oder Bors. Bevorzugt sind die Chloride; im Falle des Aluminiums sind jedoch auch die Monoalkylaluminiumdichloride und die Dialkylaluminiumchloride geeignet. Im Falle des Bors ist auch das Fluorid geeignet. Beispiele für geeignete Lewis-Säuren sind Titantetrachlorid, Bortrichlorid, Bortrifluorid, Zinntetrachlorid, Vanadiumpentachlorid,
- 35 Eisentrichlorid, Aluminiumtrichlorid, Alkylaluminiumdichloride und Dialkylaluminiumchloride. Besonders bevorzugt verwendet man Aluminiumtrichlorid.

- 40 Geeignete β -Halogenpropionsäurehalogenide sind 3-Chlorpropionsäurechlorid und 3-Brompropionsäurebromid oder -chlorid. Vorzugsweise verwendet man 3-Chlorpropionsäurechlorid.

Als Acrylsäurehalogenid wird vorzugsweise Acrylsäurechlorid verwendet.

Vorzugsweise setzt man in Schritt a) als Acylierungsmittel ein β -Halogenpropionsäurehalogenid ein.

5 Geeignete Halogenwasserstoffe sind Chlorwasserstoff und Bromwasserstoff. Vorzugsweise setzt man einen Halogenwasserstoff ein, in welchem das Halogenatom dem β -Halogenrest im eingesetzten β -Halogenpropionsäurehalogenid entspricht. Dementsprechend verwendet man bei Einsatz von 3-Chlorpropionsäurechlorid vorzugsweise Chlorwasserstoff.

10 Als Lösungsmittel für die Umsetzung in Schritt a) sind sämtliche Lösungsmittel geeignet, die üblicherweise in Friedel-Crafts-Acylierungsreaktionen eingesetzt werden. Geeignet sind grundsätzlich aprotische Lösungsmittel, welche die Reaktivität der eingesetzten Reagenzien, insbesondere der Lewis-Säure, nicht herabsetzen bzw. mit der Lewis-Säure unter den gegebenen Reaktionsbedingungen keine Konkurrenzreaktionen eingehen. Beispiele hierfür sind der zu acylierende Aromat selbst (d.h. Thiophen),
15 aromatische Kohlenwasserstoffe, die im Vergleich zu Thiophen deutlich schwerer acyliert werden, wie Benzol, Nitrobenzol und halogenierte aromatische Kohlenwasserstoffe, z.B. Chlorbenzol und Dichlorbenzol, des weiteren halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere Halogenalkane, wie Chlormethan, Dichlormethan, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Chlorethan, Di- und Trichloethan. Geeignet sind auch
20 Gemische der vorstehend genannten Lösungsmittel. Vorzugsweise verwendet man Lösungsmittel, in denen die Friedel-Crafts-Acylierung im Wesentlichen homogen ablaufen kann, wie Nitrobenzol oder halogenierte Kohlenwasserstoffe. Bevorzugt sind insbesondere halogenierte aromatische oder aliphatische Kohlenwasserstoffe, wobei
25 Halogenalkane besonders bevorzugt sind. Speziell verwendet man Dichlorethan oder Chlorbenzol.

Die Lewis-Säure muss in wenigstens äquimolaren Mengen, bezogen auf die theoretisch zu erreichende Menge an acyliertem Thiophen, eingesetzt werden, da sie mit
30 dem bei der Acylierung gebildeten Keton einen Komplex bildet, der unter den üblichen Reaktionsbedingungen der Friedel-Crafts-Reaktion stabil ist. Vorzugsweise wird sie in einem Molverhältnis von 1:1 bis 1:2, besonders bevorzugt von 1:1 bis 1:1,5 und insbesondere von 1:1,1 bis 1:1,5, bezogen auf 1 Mol der in geringerem Anteil eingesetzten Acylierungskomponente (Thiophen oder β -Halogenpropionsäurehalogenid) eingesetzt.

35 Thiophen und das β -Halogenpropionsäurehalogenid werden in einem Molverhältnis von vorzugsweise 1:0,5 bis 1:2, besonders bevorzugt von 1:0,7 bis 1:1,5 und insbesondere von 1:0,8 bis 1:1,2 eingesetzt.

40 Die Reihenfolge, in welcher bei der Friedel-Crafts-Acylierung die Reagenzien zusammengegeben werden, ist von untergeordneter Bedeutung. So kann man beispielsweise die Lewis-Säure im Lösungsmittel vorlegen und zuerst das β -Halogenpropionsäurehalogenid und anschließend das Thiophen zugeben. Alternativ kann man Thiophen und Lewis-Säure vorlegen und mit dem β -Halogenpropionsäurehalogenid versetzen.

5 In der Regel ist es günstig, bei der Zugabe des β -Halogenpropionsäurehalogenids zu kühlen, da die Reaktion der Lewis-Säure mit dem Säurehalogenid in der Regel stark exotherm verläuft. Die Reaktionstemperatur wird u.a. in Abhängigkeit vom Lösungsmittel gewählt. Üblicherweise liegt sie im Bereich von 10 °C bis 40 °C. Bei Verwendung von Halogenkohlenwasserstoffen, insbesondere von Halogenalkanen beträgt die Reaktionstemperatur geeigneterweise höchstens 50 °C, da ansonsten das Lösungsmittel selbst in Reaktion tritt. Vorzugsweise beträgt die Reaktionstemperatur -20 °C bis 40 °C, besonders bevorzugt 0 bis 30 °C.

10 Der Reaktionsdruck ist prinzipiell nicht kritisch. Im Allgemeinen wird die Reaktion bei Normaldruck durchgeführt; sie kann jedoch auch bei Über- oder Unterdruck erfolgen. Überdruck wird beispielsweise angewendet, wenn das Lösungsmittel leichtflüchtig ist oder unter Normalbedingungen nicht flüssig ist, wie dies beispielsweise bei Chlormethan der Fall ist.

15 Die Einleitung des Halogenwasserstoffs erfolgt vorzugsweise nach erfolgter Acylierung. Die Beendigung der Acylierungsreaktion kann nach üblichen Verfahren des Standes der Technik festgestellt werden, z.B. durch Gaschromatographie, Dünnschichtchromatographie oder NMR-Spektroskopie. Die Dauer der Einleitung hängt unter anderem von der Ansatzgröße ab und kann vom Fachmann im Einzelfall bestimmt werden. In der Regel erfolgt sie mindestens so lange, bis kein 1-Thien-2-ylpropenon mehr nachgewiesen werden kann.

20 Zur Aufarbeitung des Acylierungsprodukts wird das Reaktionsgemisch in der Regel zunächst hydrolytisch aufgearbeitet, um den gebildeten Keton-Lewis-Säure-Komplex zu spalten. Zur Hydrolyse verwendet man üblicherweise Wasser oder auch verdünnte wässrige Mineralsäuren, z.B. verdünnte Salzsäure. Die weitere Reinigung und Isolierung erfolgt nach bekannten Verfahren, wie sie beispielsweise in Organikum, VEB
30 Deutscher Verlag der Wissenschaften, 17. Auflage, 1988, S. 323 ff. beschrieben sind.

35 Das erfindungsgemäße Verfahren führt in Schritt a) zu einem 3-Halogen-(thien-2-yl)-1-propanon III in hohen Ausbeuten. Im Verlauf der Acylierungsreaktion gegebenenfalls gebildetes 1-Thien-2-ylpropenon II wird im wesentlichen vollständig in das 3-Halogen-(thien-2-yl)-1-propanon III überführt, so dass das Reaktionsgemisch höchstens 1 Mol-%, besonders bevorzugt höchstens 0,5 Mol-% Propenon II, bezogen auf die Ausbeute an 3-Halogen-(thien-2-yl)-1-propanon III, enthält.

40 Die Reduktion des Propanons III in Schritt b) gelingt beispielsweise mit einem Metall- oder Halbmetallhydrid oder mit Wasserstoff in Gegenwart eines geeigneten Übergangsmetallkatalysators.

Geeignete Metall- oder Halbmetallhydride sind sowohl die neutralen als auch die komplexen Hydride von Metallen bzw. Halbmetallen. Günstigerweise verwendet man Me-

tall- oder Halbmetallhydride, die sich bei der Reduktion von Ketonen zu Alkoholen bewährt haben. Vorzugsweise handelt es sich um die Hydride des Bors oder des Aluminiums.

5 Geeignete neutrale Hydride sind beispielsweise Boran (BH_3 ; B_2H_6), Alan (AlH_3), Silan (SiH_4), Mono- und Dialkylborane, wie Bis(3-methylbut-2-yl)boran (Disiamylboran) oder 9-Borabicyclo[3.3.1]nonan (9-BBN), Mono- und Dialkylaluminiumverbindungen, wie Diisobutylaluminiumhydrid (DIBAL-H), und Trialkylsilane, wie Trimethylsilan oder Triethylsilan.

10

Geeignete komplexe Hydride sind beispielsweise komplexe Borhydride, wie Natriumborhydrid (NaBH_4), Lithiumborhydrid (LiBH_4) oder Calciumborhydrid $\text{Ca}[\text{BH}_4]_2$, komplexe Aluminiumhydride, wie Lithiumaluminiumhydrid (LiAlH_4), komplexe Alkyl- oder Alkoxyborhydride, wie Lithiumtriethylborhydrid oder Kaliumtriisopropoxyborhydrid ($\text{KB}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_3\text{H}$), oder komplexe Alkyl- oder Alkoxyaluminiumhydride, wie Natriumdiethylaluminiumhydrid, Lithiumbis(2-methoxyethoxy)aluminiumhydrid ($\text{Li-Al}[\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCH}_3]_2\text{H}_2$), Natriumbis(2-methoxyethoxy)aluminiumhydrid ($\text{NaAl}[\text{OC}_2\text{H}_4\text{OCH}_3]_2\text{H}_2$; "RedAl") oder Lithiumaluminiumtris(tert-butoxy)hydrid ($\text{Li-Al}[\text{OC}(\text{CH}_3)_3]_3\text{H}$) und dergleichen.

20

Für die Reduktion mit Metall- oder Halbmetallhydriden geeignete Lösungsmittel hängen insbesondere vom verwendeten Reduktionsmittel ab und sollten selbstverständlich keine Gruppen enthalten, die unter den Reaktionsbedingungen ebenfalls reduziert werden. So führt man die Reduktion mit den vorstehend genannten Hydriden vorzugsweise in aprotischen Lösungsmitteln ohne funktionelle Gruppen, die unter den gegebenen Reaktionsbedingungen reduzierbar sind, durch. Beispiele hierfür sind aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, beispielsweise C_5 - C_8 -Alkane und C_5 - C_8 -Cycloalkane, wie Pentan, Hexan, Heptan, Cyclopentan, Cyclohexan und Cyclooctan, Aromaten, wie Benzol, Toluol, Nitrobenzol, Chlor- und Dichlorbenzol, weiterhin offenkettige und cyclische Ether mit 4 bis 8 Kohlenstoffatomen, wie Diethylether, Methyl-tert-butylether, Tetrahydrofuran oder Dioxan, ferner chlorierte Kohlenwasserstoffe, insbesondere Halogenalkane, wie Chlormethan, Dichlormethan, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Di- oder Trichlorethan. Geeignet sind auch Gemische der vorstehend genannten Lösungsmittel. Vorzugsweise verwendet man die vorstehend genannten aromatischen Kohlenwasserstoffe, Ether oder Halogenkohlenwasserstoffe.

35

Die Reduktion mit einigen der oben genannten komplexen Hydride, insbesondere mit weniger reaktiven Hydriden, wie Natriumborhydrid, gelingt auch in Gegenwart protischer Lösungsmittel, z.B. von C_1 - C_3 -Alkoholen, wie Methanol, Ethanol, Propanol oder Isopropanol, oder sogar in wässriger Lösung. In diesem Fall verwendet man vorzugsweise ein Gemisch aus wenigstens einem der zuvor genannten aprotischen Lösungsmittel und wenigstens einem Alkohol. Da die Hydride in basischen protischen Lösungen stabiler sind, erfolgt die Umsetzung bei Verwendung protischer Lösungsmittel vorzugsweise in Gegenwart einer geeigneten Base. Geeignete Basen sind beispielsweise

40

Alkalimetallhydroxide, wie Natrium- oder Kaliumhydroxid, oder Alkylmetallcarbonate, wie Natrium- oder Kaliumcarbonat. Vorzugsweise verwendet man Natriumhydroxid.

5 Die Reduktion mit vielen der zuvor genannten Metall- oder Halbmetallhydride verläuft häufig exotherm, so dass die Umsetzung geeigneterweise unter Abführung der Reaktionswärme, d.h. unter Kühlung durchgeführt wird. Die Reaktionstemperatur beträgt vorzugsweise -50 bis 40 °C, besonders bevorzugt -30 bis 30 °C und insbesondere -20 bis 20 °C. Die Reduktion kann nach üblichen Verfahren des Standes der Technik durchgeführt werden, wie sie beispielsweise in Organikum, VEB Deutscher Verlag der
10 Wissenschaften, 17. Auflage, 1988, S. 492 ff. beschrieben sind. Dabei legt man in der Regel das Propanon III vor und gibt das Reduktionsmittel portionsweise zu. Es ist jedoch auch möglich, Propanon III und Reduktionsmittel gleichzeitig portionsweise zuzugeben.

15 Die Reduktion des Propanons III gelingt beispielsweise auch mit einem Aluminiumalkoholat. Die Reduktion von Ketonen mit einem Aluminiumalkoholat bezeichnet man üblicherweise auch als Meerwein-Ponndorf-Verley-Reduktion. Dabei wird ein Keton in den entsprechenden Alkohol überführt und das Alkoholat wird gleichzeitig zum entsprechenden Aldehyd (bei Alkoholaten primärer Alkohole) bzw. Keton (bei Alkoholaten
20 sekundärer Alkohole) oxidiert. Die Durchführung der Reaktion kann nach bekannten Verfahren erfolgen, wie sie beispielsweise in Organikum, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 17. Auflage, 1988, S. 486 ff. beschrieben sind.

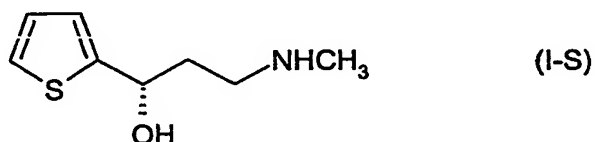
25 Die Reduktion des Propanons III gelingt außerdem auch durch katalytische Hydrierung, d.h. durch Umsetzung des Propanons III mit Wasserstoff in Gegenwart geeigneter Übergangsmetallkatalysatoren. Zu den geeigneten Übergangsmetallen zählen die Metalle der Nebengruppen VIII, VI und I, insbesondere Platin, Ruthenium, Kupfer, Chrom und Nickel. Die Katalysatoren müssen selbstverständlich so gewählt werden, dass sie die Hydrierung der Thiophengruppe nicht katalysieren. Die Katalysatoren
30 können sowohl als Heterogen- als auch als Homogenkatalysatoren eingesetzt werden. Geeignete Verfahren sind prinzipiell bekannt und beispielsweise in Transition Metals in Organic Synthesis. M. Beller, C. Bolm, Wiley-VCH, Weinheim, 1998, Band 2, Seite 1 ff. (Homogenkatalysatoren) bzw. Seite 81 ff. (Heterogenkatalysatoren) beschrieben.

35 Die Reduktion in Schritt b) erfolgt vorzugsweise mit einem Metall- oder Halbmetallhydrid und besonders bevorzugt mit einem der vorstehend genannten komplexen Metall- oder Halbmetallhydride. Speziell setzt man Natriumborhydrid ein.

40 Mit den vorstehend beschriebenen nicht asymmetrischen Reduktionsmitteln wird das prochirale 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-on III vornehmlich zu dem racemischen Alkohol IV reduziert. Die nachfolgende Umsetzung mit Methylamin führt entsprechend zum racemischen 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I.

In einer bevorzugten Ausführungsform dient das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I-S

5



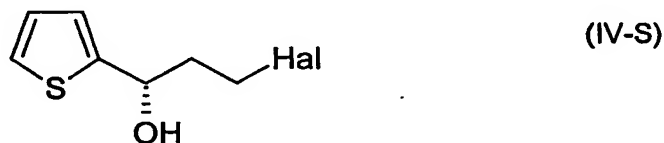
10

bzw. des Gemischs mit seinem R-Enantiomer I-R, wobei das Enantiomer I-S im Gemisch überwiegt, wobei man die Reduktion in Schritt b) in Gegenwart eines chiralen Reduktionsmittels oder eines chiralen Katalysators durchführt, welche eine Selektivität bezüglich der Bildung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)propan-1-ol I-S aufweisen.

15

Hierbei wird das prochirale Halogenpropanon III in Schritt b) enantioselektiv zum S-Halogenpropanol der Formel IV-S

20



25

bzw. zu einem Gemisch aus S- und R-Enantiomer, in welchem das S-Enantiomer überwiegt, reduziert. Zu diesem Zweck setzt man in Schritt b) als Reduktionsmittel beispielsweise ein asymmetrisches Metall- oder Halbmethylhydrid oder führt die Reduktion in Gegenwart einer asymmetrischen Induktion vermittelnden Verbindung durch.

30

Bei den asymmetrischen Metall- oder Halbmethylhydriden handelt es sich vorzugsweise um asymmetrische Aluminium-, Bor- oder Siliciumhydride. Geeignete asymmetrische Borhydride sind beispielsweise in E. J. Corey, C. J. Helal, Angew. Chem. 1998, 110, 2092-2118 oder in M. M. Midland, L. A. Morell, Methoden Org. Chem., Houben-Weyl, 4. Aufl., Band E 21d, S. 4082-4098, 1995 beschrieben, worauf hiermit in vollem Umfang Bezug genommen wird. Geeignete asymmetrische Siliciumhydride sind unter anderem in H. Brunner, Methoden Org. Chem., Houben-Weyl, 4. Aufl., Band E21d, S. 4074-4081, 1995 beschrieben, worauf ebenfalls in vollem Umfang Bezug genommen wird.

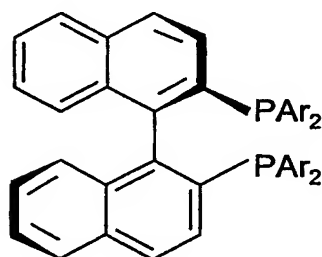
35

40

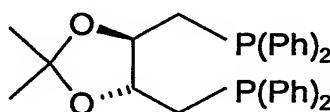
Unter asymmetrischer Induktion vermittelnde Verbindungen versteht man im Rahmen der vorliegenden Erfindung solche, die durch Beeinflussung des eigentlichen Reduktionsmittels, z.B. durch Bindungsbildung oder Komplexbildung mit dem Reduktionsmittel oder durch Aufnahme eines Wasserstoffatoms oder eines anderen reduktiven Bestandteils aus dem Reduktionsmittel, die Reduktion des Propanons III enantioselektiv gestalten. Die asymmetrische Induktion vermittelnden Verbindungen selbst sind in der Regel nicht reduzierend.

Hierzu gehören zum einen asymmetrische Hydrierkatalysatoren. Bei der asymmetrischen Hydrierung dient Wasserstoff als eigentliches Reduktionsmittel, während der asymmetrische Katalysator die enantioselektive Bildung eines der möglichen Enantiomere begünstigt. Die Hydrierung kann sowohl in heterogener als auch in homogener Phase erfolgen. Geeignete Katalysatoren für die asymmetrische Hydrierung in heterogener Phase sind beispielsweise in A. Baiker, H. U. Blaser in Handbook of Heterogeneous Catalysis, Band 5 (Herausgeber G. Ertl, H. Knörzinger, J. Weitkamp), Wiley-VCH, Weinheim, 1997, 2422-2436, auf die hiermit in vollem Umfang Bezug genommen wird.

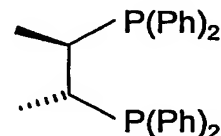
Von größerer Bedeutung sind jedoch Katalysatoren für die Hydrierung in homogener Phase. Besonders geeignet sind Katalysatoren, die ein Metall der Nebengruppe VIII, z.B. Platin oder Ruthenium, insbesondere Ruthenium, und wenigstens einen phosphorhaltigen Liganden enthalten. Geeignete Katalysatoren sind beispielsweise in R. Noyori, T. Ohkuma, Angew. Chem. 2001, 113, 40-75 beschrieben, auf die hiermit in vollem Umfang Bezug genommen wird. Insbesondere sind Ruthenium(II)-Diaminkomplexe geeignet, in denen das Ruthenium außerdem an einen zweizähnigen chiralen Diphosphanliganden gebunden ist. Beispiele für Diphosphanliganden, die für die Reduktion des Halogenpropanons III zum S-Halogenpropanol IV-S geeignet sind, sind (R)-BINAP der Formel A, (R,R)-DIOP der Formel B und (R,R)-CHIRAPHOS der Formel C



A



B



C

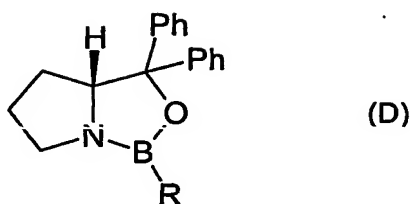
Ar = Phenyl (BINAP)
4-Methylphenyl (ToIBINAP)
3,5-Dimethylphenyl (XylBINAP)

Ph = Phenyl

Außerdem enthalten besonders bevorzugte Katalysatoren einen Diaminliganden. Beispiele für geeignete Diaminliganden sind 1,2-Ethylendiamin, 1,2-Diphenyl-1,2-Ethylendiamin und 1,2-Cyclohexandiamin in ihren enantiomeren Formen.

Die Hydrierung erfolgt in der Regel unter den zuvor beschriebenen Bedingungen.

Eine besonders bevorzugte asymmetrische Induktion vermittelnde Verbindung ist das Oxazaborylidin der Formel D



worin R für C₁-C₄-Alkyl, wie Methyl, Ethyl, Propyl, Isopropyl, n-Butyl, sec-Butyl, Isobutyl oder tert-Butyl und insbesondere für Methyl steht.

Mit diesem Reagenz sind prochirale Ketone mit hoher Enantioselektivität in sekundäre Alkohole überführbar (E. J. Corey, Pure Appl. Chem. 62, 1209, 1990; E. J. Corey, J. O. Link, J. Am. Chem. Soc. 114, 1906, 1992). Als eigentliches Reduktionsmittel dienen Borane, z.B. BH₃, Dialkylborane, Dialkoxyborane oder Diaryloxyborane. Die Umsetzung des Chlorpropanons III.1 mit dem Oxazaborylidin D (R = Methyl) und BH₃ zum S-Chlorpropanol IV.1-S wurde bereits von W. J. Wheeler und F. Kuo in Journal of Labeled Compounds and Radiopharmaceuticals, Band XXXVI, Nr. 3, S. 213-223 beschrieben.

Bei der Reduktion wird das Oxazaborylidin in der Regel in katalytischen Mengen eingesetzt. Das Boran wird in wenigstens äquimolaren Mengen, bezogen auf das Halogenpropanon III, vorzugsweise jedoch im Überschuss verwendet. Die Reaktion erfolgt meist in geeigneten Lösungsmitteln. Geeignete Lösungsmittel sind aprotische Lösungsmittel, die keine unter den gegebenen Reaktionsbedingungen reduzierbare Gruppen besitzen. Hierzu zählen insbesondere die zuvor genannten Halogenalkane, Aromaten und cyclischen oder acyclischen Ether. Bevorzugt verwendet man Ether, wobei Tetrahydrofuran besonders bevorzugt ist. Die Reaktionstemperatur beträgt vorzugsweise -80 bis 20 °C, besonders bevorzugt -30 bis 10 °C. Die Durchführung erfolgt in der Regel so, dass man das Oxazaborylidin im Lösungsmittel vorlegt und bei der gewünschten Reaktionstemperatur entweder zuerst das Boran und anschließend das Halogenpropanon III oder umgekehrt zuerst das Halogenpropanon III und anschließend das Boran zufügt, wobei der erste Zugabemodus bevorzugt ist. Die Reaktionsdauer ist unter anderem von der Ansatzgröße abhängig und kann im Einzelfall vom Fachmann bestimmt werden.

Es hat sich überraschenderweise gezeigt, dass die enantioselektive Reduktion des Propanons III zum S-Halogenpropanol IV-S auf enzymkatalysiertem Weg, insbesondere in Gegenwart einer Dehydrogenase, gut gelingt. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird daher eine Dehydrogenase als Reduktionsmittel eingesetzt.

Nach beendeter Reduktion wird im erfindungsgemäßen Verfahren je nach verwendetem Reduktionsverfahren der eingesetzte Katalysator bzw. überschüssiges Reduktionsmittel gegebenenfalls deaktiviert bzw. entfernt. Bei der Verwendung von Metall-

oder Halbmetallhydriden erfolgt dies in der Regel durch Hydrolyse, beispielsweise mit einer wässrigen oder alkoholischen Lösung. Auch bei der Verwendung homogener Hydrierungskatalysatoren oder bei der Reduktion mit Aluminiumalkoholaten wird häufig hydrolytisch aufgearbeitet. Erfolgt die Reduktion in Form einer katalytischen Hydrierung in heterogener Phase oder mit einem Enzym als Reduktionsmittel, so kann der Katalysator bzw. das Enzym durch physikalische Trennung, z.B. durch Abdekantieren oder Filtration entfernt werden. Bei der Verwendung homogener Reduktionssysteme, insbesondere bei der Reduktion mit Metall- oder Halbmetallhydriden, wird vorzugsweise jedoch zunächst nicht desaktiviert.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn man nach der Reduktion das erhaltene Halogenpropanol IV nicht isoliert, sondern direkt mit Methylamin zum 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I umgesetzt. Hierzu wird das gegebenenfalls desaktivierte bzw. von heterogenen Reduktionssystemen abgetrennte Reaktionsgemisch mit Methylamin versetzt und vorzugsweise bei erhöhter Temperatur, beispielsweise bei 30 bis 80 °C, insbesondere bei 50 bis 70 °C, umgesetzt. Das Methylamin kann entweder gasförmig oder als wässrige Lösung eingesetzt werden, wobei die Verwendung als wässrige Lösung bevorzugt ist. Vorzugsweise wird es in einer Menge von 1 bis 100 Moläquivalenten, besonders bevorzugt von 5 bis 10 Moläquivalenten, bezogen auf die Menge des eingesetzten Halogenpropanon III, eingesetzt. Die Umsetzung erfolgt vorzugsweise bei einem Druck von 1 bis 250 bar und insbesondere unter dem Eigendruck, den das System selbst erzeugt.

Nach erfolgter Umsetzung mit Methylamin wird das Reaktionsgemisch in üblicher Weise aufgearbeitet. Hierzu wird, falls das nicht schon vor der Methylamin-Zugabe erfolgte, der Katalysator bzw. das Reduktionsmittel wie bereits beschrieben desaktiviert und abgetrennt, das Lösungsmittel wird entfernt und aus dem Rückstand wird sauberes Methylaminopropanol I beispielsweise durch Kristallisation, Digerieren, Extraktion oder Chromatographie isoliert.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I in guten Ausbeuten erhältlich. Insbesondere sind in Schritt a) des Verfahrens keine teuren oder aufwändig handzuhabenden Reagenzien oder Lösungsmittel erforderlich und das Halogenpropanon III entsteht in sehr hohen Ausbeuten. In Schritt b) wird die Isolierung des empfindlichen Halogenpropanols IV und ein damit verbundener Ausbeuteverlust bzw. die schwierige Handhabung des Halogenpropanols IV vermieden. Außerdem ist mit dem erfindungsgemäßen Verfahren das S-Enantiomer des Methylaminopropanols I-S, welches für die weitere Umsetzung zu Duloxetine wesentlich ist, selektiv erhältlich, wenn in Schritt b) die Reduktion mit einem chiralen Reduktionsmittel erfolgt.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I-S, bei dem man ein 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-on III enantioselektiv reduziert wird,

- dadurch gekennzeichnet, dass die Reduktion in Gegenwart einer Dehydrogenase erfolgt. In einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das dabei erhaltene (S)-3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol IV-S ohne Isolierung mit Methylamin umgesetzt. Bezüglich geeigneter und bevorzugter Dehydrogenasen und der Durchführung des Verfahrens wird auf die folgenden Ausführungen ausdrücklich verwiesen.

Biochemische Ausführungsformen:

- Geeignete Dehydrogenasen (EC 1.1.X.X) sind vor allem Dehydrogenasen (E.C. 1.1.1.x) insbesondere Alkohol Dehydrogenasen (E.C.1.1.1.1 oder E.C.1.1.1.2), welche die selektive Reduktion des Halogenpropanons III zum S-Halogenpropanol IV-S bewirken. Die Dehydrogenase wird bevorzugt aus einem Mikroorganismus, besonders bevorzugt aus einem Bakterium, einem Pilz, insbesondere einer Hefe, jeweils hinterlegt in Stammsammlungen oder erhältlich aus Isolaten natürlicher Quelle, wie Bodenproben, Biomasseproben und dergleichen gewonnen. Insbesondere stammt die Dehydrogenase aus einer Hefe oder einem Milchsäurebakterium.

- Die Dehydrogenase kann in gereinigter oder teilweise gereinigter Form oder in Form des Mikroorganismus selbst verwendet werden. Verfahren zur Gewinnung und Aufreinigung von Dehydrogenasen aus Mikroorganismen sind dem Fachmann hinreichend bekannt, z.B. aus K. Nakamura & T. Matsuda, „Reduction of Ketones“ in K. Drauz und H. Waldmann, Enzyme Catalysis in Organic Synthesis 2002, Vol.III, 991-1032, Wiley-VCH, Weinheim. Rekombinante Verfahren zur Erzeugung von Dehydrogenasen sind ebenfalls bekannt, beispielsweise aus W. Hummel, K. Abokitse, K. Drauz, C. Rollmann und H. Gröger, Adv. Synth. Catal. 2003, 345, Nr. 1 + 2, S. 153-159.

- Geeignete Bakterien sind beispielsweise solche der Gattung *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Agrobacterium*, *Rhodococcus*, *Lactobacillus* oder *Lactococcus*. Geeignete Hefen sind beispielsweise solche der Gattung *Geotrichum*, *Pichia*, *Candida*, *Hansenula* oder *Saccharomyces*.

- Besonders bevorzugt werden Dehydrogenasen aus Hefen und Milchsäurebakterien eingesetzt. Hierunter bevorzugt sind Dehydrogenasen, die aus Hefen der Gattung *Geotrichum* oder *Candida* oder die aus Milchsäurebakterien der Gattung *Lactobacillus* oder *Lactococcus* gewonnen werden.

- Beispiele für *Lactobacillus*-Arten sind *L. brevis*, *L. kefir*, *L. plantarum*, *L. casei*, *L. acidophilus*, *L. delbrueckii* und *L. sanfrancisco*.
- Beispiele für *Candida*-Arten sind *C. magnoliae*, *C. rugosa*, *C. utilis*, *C. boidinii*, *C. parapsilosis* und *C. antarctica*.

Beispiele für *Geotrichum*-Arten sind *G. candidum*, *G. clavatum* und *G. fermentans*.

Besonders bevorzugt verwendet man Dehydrogenasen aus *Candida magnoliae*, *Geotrichum candidum* oder *Lactobacillus brevis*.

5 Üblicherweise erfolgt die Reduktion mit der Dehydrogenase in Gegenwart eines geeigneten Coenzym (auch als Cofaktor bezeichnet). Als Coenzym für die Reduktion des Ketons dient üblicherweise NADH und/oder NADPH. Daneben können Dehydrogenasen als zelluläre Systeme eingesetzt werden, die inherent Cofaktor enthalten, oder alternative Redoxmediatoren zugesetzt werden (A. Schmidt, F. Hollmann und B. Bühler „Oxidation of Alcohols“ in K. Drauz und H. Waldmann, *Enzyme Catalysis in Organic Synthesis* 2002, Vol.III, 991-1032, Wiley-VCH, Weinheim).

15 Üblicherweise erfolgt die Reduktion mit der Dehydrogenase außerdem in Gegenwart eines geeigneten Cosubstrats, welches in der Regel als Reduktionsmittel für das im Verlauf der Reduktion oxidierte Coenzym fungiert und diese somit regeneriert. Beispiele für geeignete Cosubstrate sind Zucker, insbesondere die Hexosen, wie Glucose, Mannose, Fructose, und/oder oxidierbare Alkohole, insbesondere Ethanol, Propanol oder Isopropanol, sowie Formiat. Zur Oxidation des Cosubstrates und damit verbunden zur Regeneration des Coenzym kann eine zweite Dehydrogenase, wie z.B. Glucose Dehydrogenase bei Verwendung von Glucose als Cosubstrat, zugesetzt werden. 20 Diese kann als freies oder immobilisiertes Enzym oder in Form von freien oder immobilisierten Zellen eingesetzt werden. Ihre Herstellung kann sowohl separat als auch durch Coexpression in einem (rekombinanten) Dehydrogenase-Stamm erfolgen.

25 Die erfindungsgemäß verwendeten Dehydrogenasen können frei oder immobilisiert eingesetzt werden. Unter einem immobilisierten Enzym versteht man ein Enzym, das an einen inerten Träger fixiert ist. Geeignete Trägermaterialien sowie die darauf immobilisierten Enzyme sind aus der EP-A-1149849, EP-A-1 069 183 und der DE-OS 100193773 sowie aus den darin zitierten Literaturstellen bekannt. Auf die Offenbarung dieser Schriften wird diesbezüglich in vollem Umfang Bezug genommen. Zu den geeigneten Trägermaterialien gehören beispielsweise Tone, Tonminerale, wie Kaolinit, Diatomeenerde, Perlit, Siliciumdioxid, Aluminiumoxid, Natriumcarbonat, Calciumcarbonat, Cellulosepulver, Anionenaustauschermaterialien, synthetische Polymere, wie Polystyrol, Acrylharze, Phenolformaldehydharze, Polyurethane und Polyolefine, wie Polyethylen und Polypropylen. Die Trägermaterialien werden zur Herstellung der geträgerten Enzyme üblicherweise in einer feinteiligen, partikelförmigen Form eingesetzt, wobei 35 poröse Formen bevorzugt sind. Die Partikelgröße des Trägermaterials beträgt üblicherweise nicht mehr als 5 mm, insbesondere nicht mehr als 2 mm (Sieblinie). Analog kann bei Einsatz der Dehydrogenase als Ganzzell-Katalysator eine freie oder immobilisierte Form gewählt werden. Trägermaterialien sind z.B. Ca-Alginat, und Carrageenan. Enzyme wie auch Zellen können auch direkt mit Glutaraldehyd vernetzt werden 40 (Cross-linking zu CLEAs). Entsprechende und weitere Immobilisierungsverfahren sind beispielsweise in J. Lalonde und A. Margolin „Immobilization of Enzymes“ in K. Drauz und H. Waldmann, *Enzyme Catalysis in Organic Synthesis* 2002, Vol.III, 991-1032, Wiley-VCH, Weinheim beschrieben.

Die Reduktionsreaktion kann in wässrigen oder nichtwässrigen Reaktionsmedien oder in 2-Phasensystemen oder (Mikro-)Emulsionen erfolgen. Bei den wässrigen Reaktionsmedien handelt es sich vorzugsweise um gepufferte Lösungen, die in der Regel einen pH-Wert von 5 bis 8, vorzugsweise von 6 bis 8, aufweisen. Das wässrige Lösungsmittel kann neben Wasser außerdem wenigstens einen Alkohol, z.B. Ethanol oder Isopropanol enthalten.

Unter nicht-wässrigen Reaktionsmedien sollen Reaktionsmedien verstanden werden, die weniger als 1 Gew.-%, vorzugsweise weniger als 0,5 Gew.-% Wasser, bezogen auf das Gesamtgewicht des Reaktionsmediums, enthalten. Vorzugsweise wird die Umsetzung in einem organischen Lösungsmittel durchgeführt. Geeignete Lösungsmittel sind beispielsweise aliphatische Kohlenwasserstoffe, vorzugsweise mit 5 bis 8 Kohlenstoffatomen, wie Pentan, Cyclopentan, Hexan, Cyclohexan, Heptan, Octan oder Cyclooctan, halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe, vorzugsweise mit einem oder zwei Kohlenstoffatomen, wie Dichlormethan, Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff, Dichlorethan oder Tetrachlorethan, aromatische Kohlenwasserstoffe, wie Benzol, Toluol, die Xylole, Chlorbenzol oder Dichlorbenzol, aliphatische acyclische und cyclische Ether, vorzugsweise mit 4 bis 8 Kohlenstoffatomen, wie Diethylether, Methyl-tert-butylether, Ethyl-tert-butylether, Dipropylether, Diisopropylether, Dibutylether, Tetrahydrofuran oder Ester wie Ethylacetat oder n-Butylacetat oder Ketone wie Methylisobutylketon oder Dioxan oder Gemische davon. Besonders bevorzugt werden die vorgenannten Ether, insbesondere Tetrahydrofuran, verwendet.

Beispielsweise wird die Reduktion mit der Dehydrogenase in einem wässrig-organischen, insbesondere wässrigen Reaktionsmedium durchgeführt.

Das Halogenpropanon III wird vorzugsweise in einer Konzentration von 0,1 g/l bis 500 g/l, besonders bevorzugt von 1 g/l bis 50 g/l in die enzymatische Reduktion eingesetzt und kann kontinuierlich oder diskontinuierlich nachgeführt werden.

Die enzymatische Reduktion erfolgt in der Regel bei einer Reaktionstemperatur unterhalb der Desaktivierungstemperatur der eingesetzten Dehydrogenase und vorzugsweise bei wenigstens -10 °C. Besonders bevorzugt liegt sie im Bereich von 0 bis 100 °C, insbesondere von 15 bis 60 °C und speziell von 20 bis 40 °C, z.B. bei etwa 30 °C.

Zur Durchführung kann man beispielsweise das Halogenpropanon III mit der Dehydrogenase, dem Lösungsmittel und gegebenenfalls den Coenzymen, gegebenenfalls einer Hilfs-Dehydrogenase zur Regenerierung des Coenzym und/oder weiteren Co-substraten vorlegen und das Gemisch durchmischen, z. B. durch Rühren oder Schütteln. Es ist aber auch möglich, die Dehydrogenase(n) in einem Reaktor, beispielsweise in einer Säule, zu immobilisieren, und durch den Reaktor eine das Halogenpropanon III und gegebenenfalls Coenzyme und/oder Cosubstrate enthaltende Mischung zu leiten. Hierzu kann man die Mischung im Kreislauf durch den Reaktor leiten bis der ge-

wünschte Umsatz erreicht ist. Dabei wird die Ketogruppe des Halogenpropanons III zu einer OH-Gruppe reduziert, wobei im Wesentlichen selektiv das S-Enantiomer des Halogenpropanols IV-S entsteht. In der Regel wird man die Reduktion bis zu einem Umsatz von wenigstens 70 %, besonders bevorzugt von wenigstens 85 % und insbesondere von wenigstens 95%, bezogen auf das in der Mischung enthaltene Halogenpropanon III führen. Das Fortschreiten der Reaktion, d. h. die sequentielle Reduktion des Ketons, kann dabei durch übliche Methoden wie Gaschromatographie verfolgt werden.

- 10 Besonders bevorzugt werden als Dehydrogenasen im erfindungsgemäßen Verfahren Alkohol-Dehydrogenasen mit folgenden Eigenschaften eingesetzt:

Alkohol Dehydrogenasen, mit einer Aminosäuresequenz, die im Bereich des N-Terminus a) eine Aminosäureteilsequenz von wenigstens 5 oder 8, vorzugsweise wenigstens 10 aufeinanderfolgenden *Aminosäureresten* gemäß SEQ ID NO: 1 umfasst, wobei vorzugsweise zusätzlich die der Aminosäureposition 12 gemäß SEQ ID NO:1 entsprechende Position für Valin steht; oder b) eine Aminosäureteilsequenz von wenigstens 5 oder 8, vorzugsweise wenigstens 10 aufeinanderfolgenden *Aminosäureresten* gemäß SEQ ID NO: 2 umfasst; und funktionale Äquivalente davon.

Alkohol Dehydrogenasen welche zur Reduktion von 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on zu (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol befähigt ist.

- 25 Alkohol Dehydrogenasen, welche die Reduktion in einer Enantiomerenreinheit von wenigstens wenigstens 85 % ee (in Gegenwart von NADH und/oder NADPH; bei 30°C und pH 6.0) katalysiert.

Alkohol Dehydrogenasen, welche von einer Nukleinsäuresequenz, umfassend SEQ ID NO:3, kodiert werden, oder welche eine Aminosäuresequenz gemäß SEQ ID NO: 4 oder wenigstens eine Teilsequenz gemäß Figur 3 umfassen, und vorzugsweise aus *Lactobacillus brevis* erhältlich sind; sowie die davon abgeleiteten funktional äquivalenten Alkohol Dehydrogenasen.

- 35 Alkohol Dehydrogenasen, welche von einer Nukleinsäuresequenz, umfassend SEQ ID NO:5, kodiert werden, oder welche eine Aminosäuresequenz, umfassend SEQ ID NO: 6, aufweisen, und vorzugsweise aus *Candida magnoliae* (ATCC 12573) erhältlich sind; sowie die davon abgeleiteten funktional äquivalenten Alkohol Dehydrogenasen.

- 40 Ein weitere Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist auch eine (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol-Dehydrogenase mit wenigstens einer der vorstehend aufgeführten Eigenschaften.

Vorzugsweise liegt der Temperatur-Stabilitätsbereich der Dehydrogenase bei 10 bis 80 °C. Das Temperatur-Optimum ihrer Aktivität liegt vorzugsweise im Bereich von 20 bis

60 °C, besonders bevorzugt von 25 bis 40 °C. Der Stabilitätsbereich für den pH liegt vorzugsweise bei pH 4 bis 10. Der optimale pH für die Dehydrogenierung liegt vorzugsweise im Bereich von pH 5 bis 8.

5 Des weiteren ist die erfindungsgemäße Dehydrogenase vorzugsweise zur Dehydrogenierung von (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol zu 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on in Gegenwart von NAD⁺ oder NADP⁺ befähigt. Bevorzugt weist sie ein Molekulargewicht im Bereich von 30 ± 2 kDalton auf.

10 Außerdem ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Nukleinsäuresequenz, umfassend die kodierende Sequenz für die erfindungsgemäße Dehydrogenase oder eine kodierende Teilsequenz. Ein nichtlimitierendes Beispiel dafür ist die in SEQ ID NO: 3 oder 6 dargestellte Sequenz.

15 Ferner ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Expressionskassette, umfassend in operativer Verknüpfung mit wenigstens einer regulativen Nukleinsäuresequenz die erfindungsgemäße Nukleinsäuresequenz.

20 Des weiteren ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein rekombinanter Vektor, umfassend wenigstens eine erfindungsgemäße Expressionskassette.

Außerdem ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung ein prokaryontischer oder eukaryontischer Wirt, transformiert mit wenigstens einem erfindungsgemäßen Vektor.

25 Schließlich ist Gegenstand der vorliegenden Erfindung die Verwendung der erfindungsgemäßen Dehydrogenase oder eines diese Dehydrogenase produzierenden Mikroorganismus zur Herstellung von (S)-3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol und insbesondere zur Herstellung von Duloxetine.

30 Weitere Abwandlungen erfindungsgemäßer Dehydrogenasen:

Erfindungsgemäß mit umfasst sind ebenfalls „funktionale Äquivalente“ der konkret offenbarten Enzyme mit (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol-Dehydrogenase - Aktivität und die Verwendung dieser in den erfindungsgemäßen Verfahren.

35 „Funktionale Äquivalente“ oder Analoga der konkret offenbarten Enzyme sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung davon verschiedene Polypeptide, welche weiterhin die gewünschte biologische Aktivität, wie z.B. Substratspezifität, besitzen. So versteht man beispielsweise unter „funktionalen Äquivalenten“ Enzyme, die von 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on zum entsprechenden S-Alkohol reduzieren und die mindestens 20 %,
40 bevorzugt 50 %, besonders bevorzugt 75 %, ganz besonders bevorzugt 90 % der Aktivität eines Enzyms, umfassend eine der unter SEQ ID NO:1, 2, 4 oder 6 aufgeführten oder in Figur 3 dargestellten Aminosäuresequenzen, aufweist. Funktionale Äquivalente sind außerdem vorzugsweise zwischen pH 4 bis 10 stabil und besitzen vorteilhaft ein

pH-Optimum zwischen pH 5 und 8 sowie ein Temperaturoptimum im Bereich von 20°C bis 80°C.

- Unter „funktionalen Äquivalenten“ versteht man erfindungsgemäß insbesondere auch
- 5 Mutanten, welche in wenigstens einer Sequenzposition der oben genannten Aminosäuresequenzen eine andere als die konkret genannte Aminosäure aufweisen aber trotzdem eine der oben genannten biologischen Aktivitäten besitzen. „Funktionale Äquivalente“ umfassen somit die durch eine oder mehrere Aminosäure-Additionen, -
- 10 Substitutionen, -Deletionen und/oder -Inversionen erhältlichen Mutanten, wobei die genannten Veränderungen in jeglicher Sequenzposition auftreten können, solange sie zu einer Mutante mit dem erfindungsgemäßen Eigenschaftsprofil führen. Funktionale Äquivalenz ist insbesondere auch dann gegeben, wenn die Reaktivitätsmuster zwischen Mutante und unverändertem Polypeptid qualitativ übereinstimmen, d.h. beispielsweise gleiche Substrate mit unterschiedlicher Geschwindigkeit umgesetzt werden.
- 15 Beispiele für geeignete Aminosäuresubstitutionen sind folgender Tabelle zu entnehmen:

Ursprünglicher Rest

Ala
Arg
Asn
Asp
Cys
Gln
Glu
Gly
His
Ile
Leu
Lys
Met
Phe
Ser
Thr
Trp
Tyr
Val

Beispiele der Substitution

Ser
Lys
Gln; His
Glu
Ser
Asn
Asp
Pro
Asn ; Gln
Leu; Val
Ile; Val
Arg ; Gln ; Glu
Leu ; Ile
Met ; Leu ; Tyr
Thr
Ser
Tyr
Trp ; Phe
Ile; Leu

- 20 „Funktionale Äquivalente“ im obigen Sinne sind auch „Präkursoren“ der beschriebenen Polypeptide sowie „funktionale Derivate“ und „Salze“ der Polypeptide.

„Präkursoren“ sind dabei natürliche oder synthetische Vorstufen der Polypeptide mit oder ohne der gewünschten biologischen Aktivität.

Unter dem Ausdruck „Salze“ versteht man sowohl Salze von Carboxylgruppen als auch Säureadditionssalze von Aminogruppen der erfindungsgemäßen Proteinmoleküle. Salze von Carboxylgruppen können in an sich bekannter Weise hergestellt werden und umfassen anorganische Salze, wie zum Beispiel Natrium-, Calcium-, Ammonium-, Eisen- und Zinksalze, sowie Salze mit organischen Basen, wie zum Beispiel Aminen, wie Triethanolamin, Arginin, Lysin, Piperidin und dergleichen. Säureadditionssalze, wie zum Beispiel Salze mit Mineralsäuren, wie Salzsäure oder Schwefelsäure und Salze mit organischen Säuren, wie Essigsäure und Oxalsäure sind ebenfalls Gegenstand der Erfindung.

10

„Funktionale Derivate“ erfindungsgemäßer Polypeptide können an funktionellen Aminosäure-Seitengruppen oder an deren N- oder C-terminalen Ende mit Hilfe bekannter Techniken ebenfalls hergestellt werden. Derartige Derivate umfassen beispielsweise aliphatische Ester von Carbonsäuregruppen, Amide von Carbonsäuregruppen, erhältlich durch Umsetzung mit Ammoniak oder mit einem primären oder sekundären Amin; N-Acylderivate freier Aminogruppen, hergestellt durch Umsetzung mit Acylgruppen; oder O-Acylderivate freier Hydroxygruppen, hergestellt durch Umsetzung mit Acylgruppen.

15

20 Im Falle einer möglichen Proteinglykosylierung umfassen erfindungsgemäße „funktionale Äquivalente“ Proteine des oben bezeichneten Typs in deglykosylierter bzw. glykosylierter Form sowie durch Veränderung des Glykosylierungsmusters erhältliche abgewandelte Formen.

25 „Funktionale Äquivalente“ umfassen natürlich auch Polypeptide welche aus anderen Organismen zugänglich sind, sowie natürlich vorkommende Varianten. Beispielsweise lassen sich durch Sequenzvergleich Bereiche homologer Sequenzregionen festlegen und in Anlehnung an die konkreten Vorgaben der Erfindung äquivalente Enzyme ermitteln.

30

„Funktionale Äquivalente“ umfassen ebenfalls Fragmente, vorzugsweise einzelne Domänen oder Sequenzmotive, der erfindungsgemäßen Polypeptide, welche z.B. die gewünschte biologische Funktion aufweisen.

35 „Funktionale Äquivalente“ sind außerdem Fusionsproteine, welche eine der oben genannten Polypeptidsequenzen oder davon abgeleitete funktionale Äquivalente und wenigstens eine weitere, davon funktionell verschiedene, heterologe Sequenz in funktioneller N- oder C-terminaler Verknüpfung (d.h. ohne gegenseitigen wesentliche funktionelle Beeinträchtigung der Fusionsproteinteile) aufweisen. Nichtlimitierende Beispiele für derartige heterologe Sequenzen sind z.B. Signalpeptide oder Enzyme.

40

Erfindungsgemäß mit umfasste „funktionale Äquivalente“ sind Homologe zu den konkret offenbarten Proteinen. Diese besitzen wenigstens 60 %, vorzugsweise wenigstens 75% ins besondere wenigsten 85 %, wie z.B. 90%, 95%, 97% oder 99%, Homologie

- zu einer der konkret offenbarten Aminosäuresequenzen, berechnet nach dem Algorithmus von Pearson und Lipman, Proc. Natl. Acad. Sci. (USA) 85(8), 1988, 2444-2448. Eine prozentuale Homologie eines erfindungsgemäßen homologen Polypeptids bedeutet insbesondere prozentuale Identität der Aminosäurereste bezogen auf die Gesamtlänge einer der hierin konkret beschriebenen Aminosäuresequenzen.

Homologe der erfindungsgemäßen Proteine oder Polypeptide können durch Mutagenese erzeugt werden, z.B. durch Punktmutation oder Verkürzung des Proteins.

- Homologe des erfindungsgemäßen Proteine können durch Screening kombinatorischer Banken von Mutanten, wie z.B. Verkürzungsmutanten, identifiziert werden. Beispielsweise kann eine variierte Bank von Protein-Varianten durch kombinatorische Mutagenese auf Nukleinsäureebene erzeugt werden, wie z.B. durch enzymatisches Ligieren eines Gemisches synthetischer Oligonukleotide. Es gibt eine Vielzahl von Verfahren, die zur Herstellung von Banken potentieller Homologer aus einer degenerierten Oligonukleotidsequenz verwendet werden können. Die chemische Synthese einer degenerierten Gensequenz kann in einem DNA-Syntheseautomaten durchgeführt werden, und das synthetische Gen kann dann in einen geeigneten Expressionsvektor ligiert werden. Die Verwendung eines degenerierten Gensatzes ermöglicht die Bereitstellung sämtlicher Sequenzen in einem Gemisch, die den gewünschten Satz an potentiellen Proteinsequenzen kodieren. Verfahren zur Synthese degenerierter Oligonukleotide sind dem Fachmann bekannt (z.B. Narang, S.A. (1983) Tetrahedron 39:3; Itakura et al. (1984) Annu. Rev. Biochem. 53:323; Itakura et al., (1984) Science 198:1056; Ike et al. (1983) Nucleic Acids Res. 11:477).
- Im Stand der Technik sind mehrere Techniken zum Screening von Genprodukten kombinatorischer Banken, die durch Punktmutationen oder Verkürzung hergestellt worden sind, und zum Screening von cDNA-Banken auf Genprodukte mit einer ausgewählten Eigenschaft bekannt. Diese Techniken lassen sich an das schnelle Screening der Genbanken anpassen, die durch kombinatorische Mutagenese erfindungsgemäßer Homologer erzeugt worden sind. Die am häufigsten verwendeten Techniken zum Screening großer Genbanken, die einer Analyse mit hohem Durchsatz unterliegen, umfassen das Klonieren der Genbank in replizierbare Expressionsvektoren, Transformieren der geeigneten Zellen mit der resultierenden Vektorenbank und Expressieren der kombinatorischen Gene unter Bedingungen, unter denen der Nachweis der gewünschten Aktivität die Isolation des Vektors, der das Gen kodiert, dessen Produkt nachgewiesen wurde, erleichtert. Recursive-Ensemble-Mutagenese (REM), eine Technik, die die Häufigkeit funktioneller Mutanten in den Banken vergrößert, kann in Kombination mit den Screeningtests verwendet werden, um Homologe zu identifizieren (Arkin und Yourvan (1992) PNAS 89:7811-7815; Delgrave et al. (1993) Protein Engineering 6(3):327-331).

Weitere Ausgestaltung erfindungsgemäßer kodierender Nukleinsäuresequenzen

Gegenstand der Erfindung sind insbesondere Nukleinsäuresequenzen (einzeln- und doppelsträngige DNA- und RNA-Sequenzen, wie z.B. cDNA und mRNA), die für ein Enzym mit erfindungsgemäßer Dehydrogenase-Aktivität kodieren. Bevorzugt sind Nukleinsäuresequenzen, welche z.B. für Aminosäuresequenzen gemäß SEQ ID NO: 1, 2, 4, 6 oder Figur 3 oder charakteristische Teilsequenzen davon kodieren, oder Nukleinsäuresequenzen gemäß SEQ ID NO: 3 oder 5 oder charakteristische Teilsequenzen davon umfassen.

Alle hierin erwähnten Nukleinsäuresequenzen sind in an sich bekannter Weise durch chemische Synthese aus den Nukleotidbausteinen, wie beispielsweise durch Fragmentkondensation einzelner überlappender, komplementärer Nukleinsäurebausteine der Doppelhelix herstellbar. Die chemische Synthese von Oligonukleotiden kann beispielsweise, in bekannter Weise, nach der Phosphoramiditmethode (Voet, Voet, 2. Auflage, Wiley Press New York, Seiten 896–897) erfolgen. Die Anlagerung synthetischer Oligonukleotide und Auffüllen von Lücken mit Hilfe des Klenow-Fragmentes der DNA-Polymerase und Ligationsreaktionen sowie allgemeine Klonierungsverfahren werden in Sambrook et al. (1989), Molecular Cloning: A laboratory manual, Cold Spring Harbor Laboratory Press, beschrieben.

Gegenstand der Erfindung sind auch Nukleinsäuresequenzen (einzeln- und doppelsträngige DNA- und RNA-Sequenzen, wie z.B. cDNA und mRNA), kodierend für eines der obigen Polypeptide und deren funktionalen Äquivalenten, welche z.B. unter Verwendung künstlicher Nukleotidanaloga zugänglich sind.

Die Erfindung betrifft sowohl isolierte Nukleinsäuremoleküle, welche für erfindungsgemäße Polypeptide bzw. Proteine oder biologisch aktive Abschnitte davon kodieren, als auch Nukleinsäurefragmente, die z.B. zur Verwendung als Hybridisierungssonden oder Primer zur Identifizierung oder Amplifizierung von erfindungsgemäßer kodierenden Nukleinsäuren verwendet werden können.

Die erfindungsgemäßen Nukleinsäuremoleküle können zudem untranslatierte Sequenzen vom 3'- und/oder 5'-Ende des kodierenden Genbereichs enthalten

Die Erfindung umfasst weiterhin die zu den konkret beschriebenen Nukleotidsequenzen komplementären Nukleinsäuremoleküle oder einen Abschnitt davon.

Die erfindungsgemäßen Nukleotidsequenzen ermöglichen die Erzeugung von Sonden und Primern, die zur Identifizierung und/oder Klonierung von homologer Sequenzen in anderen Zelltypen und Organismen verwendbar sind. Solche Sonden bzw. Primer umfassen gewöhnlich einen Nukleotidsequenzbereich, der unter „stringenten“ Bedingungen (siehe unten) an mindestens etwa 12, vorzugsweise mindestens etwa 25, wie z.B. etwa 40, 50 oder 75 aufeinanderfolgende Nukleotide eines Sense-Stranges einer erfindungsgemäßen Nukleinsäuresequenz oder eines entsprechenden Antisense-Stranges hybridisiert.

Ein "isoliertes" Nukleinsäuremolekül wird von anderen Nukleinsäuremolekülen abgetrennt, die in der natürlichen Quelle der Nukleinsäure zugegen sind und kann überdies im wesentlichen frei von anderem zellulären Material oder Kulturmedium sein, wenn es
5 durch rekombinante Techniken hergestellt wird, oder frei von chemischen Vorstufen oder anderen Chemikalien sein, wenn es chemisch synthetisiert wird.

Ein erfindungsgemäßes Nukleinsäuremolekül kann mittels molekularbiologischer Standard-Techniken und der erfindungsgemäß bereitgestellten Sequenzinformation isoliert werden. Beispielsweise kann cDNA aus einer geeigneten cDNA-Bank isoliert
10 werden, indem eine der konkret offenbaren vollständigen Sequenzen oder ein Abschnitt davon als Hybridisierungssonde und Standard-Hybridisierungstechniken (wie z.B. beschrieben in Sambrook, J., Fritsch, E.F. und Maniatis, T. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. 2. Aufl., Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY, 1989) verwendet werden. Überdies lässt sich ein Nukleinsäuremolekül, umfassend eine der offenbaren Sequenzen oder ein
15 Abschnitt davon, durch Polymerasekettenreaktion isolieren, wobei die Oligonukleotidprimer, die auf der Basis dieser Sequenz erstellt wurden, verwendet werden. Die so amplifizierte Nukleinsäure kann in einen geeigneten Vektor kloniert werden und durch
20 DNA-Sequenzanalyse charakterisiert werden. Die erfindungsgemäßen Oligonukleotide können ferner durch Standard-Syntheseverfahren, z.B. mit einem automatischen DNA-Synthesegerät, hergestellt werden.

Die erfindungsgemäßen Nukleinsäuresequenzen lassen sich prinzipiell aus allen Organismen identifizieren und isolieren. Vorteilhaft lassen sich die erfindungsgemäßen Nukleinsäuresequenzen oder die Homologen davon, aus Pilzen, Hefen oder Bakterien isolieren. Als Bakterien seien gram-negative und gram-positive Bakterien genannt. Bevorzugt werden die erfindungsgemäßen Nukleinsäuren aus gram-negativen Bakterien vorteilhaft aus alpha-Proteobakterien, beta-Proteobakterien oder gamma-Proteobakterien, besonders bevorzugt aus Bakterien der Familien Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae oder Rhizobiaceae, ganz besonders bevorzugt aus Bakterien der Gattung Agrobacterium, Pseudomonas oder Burkholderia über dem Fachmann bekannte Methoden isoliert.
30

Erfindungsgemäße Nukleinsäuresequenzen lassen sich beispielsweise mit üblichen Hybridisierungsverfahren oder der PCR-Technik aus anderen Pilzen oder Bakterien, z.B. über genomische oder cDNA-Banken, isolieren. Diese DNA-Sequenzen hybridisieren unter Standardbedingungen mit den erfindungsgemäßen Sequenzen. Zur Hybridisierung werden vorteilhaft kurze Oligonukleotide der konservierten Bereiche
35 beispielsweise aus dem aktiven Zentrum, die über Vergleiche mit einer erfindungsgemäßen Dehydrogenase in dem Fachmann bekannter Weise ermittelt werden können, verwendet. Es können aber auch längere Fragmente der erfindungsgemäßen Nukleinsäuren oder die vollständigen Sequenzen für die Hybridisierung verwendet werden. Je nach der verwendeten Nukleinsäure (Oligonukleotid, längeres Fragment oder vollständige
40

dige Sequenz) oder je nachdem welche Nukleinsäureart DNA oder RNA für die Hybridisierung verwendet werden, variieren diese Standardbedingungen. So liegen beispielsweise die Schmelztemperaturen für DNA:DNA-Hybride ca 10 °C niedriger als die von DNA:RNA-Hybriden gleicher Länge.

5

Unter Standardbedingungen sind beispielsweise je nach Nukleinsäure Temperaturen zwischen 42 und 58 °C in einer wäßrigen Pufferlösung mit einer Konzentration zwischen 0,1 bis 5 x SSC (1 X SSC = 0,15 M NaCl, 15 mM Natriumcitrat, pH 7,2) oder zusätzlich in Gegenwart von 50% Formamid wie beispielsweise 42 °C in 5 x SSC, 50% Formamid zu verstehen. Vorteilhafterweise liegen die Hybridisierungsbedingungen für DNA:DNA-Hybride bei 0,1 x SSC und Temperaturen zwischen etwa 20 °C bis 45 °C, bevorzugt zwischen etwa 30 °C bis 45 °C. Für DNA:RNA-Hybride liegen die Hybridisierungsbedingungen vorteilhaft bei 0,1 x SSC und Temperaturen zwischen etwa 30 °C bis 55 °C, bevorzugt zwischen etwa 45 °C bis 55 °C. Diese angegebenen Temperaturen für die Hybridisierung sind beispielhaft kalkulierte Schmelztemperaturwerte für eine Nukleinsäure mit einer Länge von ca. 100 Nukleotiden und einem G + C-Gehalt von 50 % in Abwesenheit von Formamid. Die experimentellen Bedingungen für die DNA-Hybridisierung sind in einschlägigen Lehrbüchern der Genetik, wie beispielsweise Sambrook et al., "Molecular Cloning", Cold Spring Harbor Laboratory, 1989, beschrieben und lassen sich nach dem Fachmann bekannten Formeln beispielsweise abhängig von der Länge der Nukleinsäuren, der Art der Hybride oder dem G + C-Gehalt berechnen. Weitere Informationen zur Hybridisierung kann der Fachmann folgenden Lehrbüchern entnehmen: Ausubel et al. (eds), 1985, Current Protocols in Molecular Biology, John Wiley & Sons, New York; Hames and Higgins (eds), 1985, Nucleic Acids Hybridization: A Practical Approach, IRL Press at Oxford University Press, Oxford; Brown (ed), 1991, Essential Molecular Biology: A Practical Approach, IRL Press at Oxford University Press, Oxford.

30

Gegenstand der Erfindung sind auch Derivate der konkret offenbarten oder ableitbaren Nukleinsäuresequenzen.

35

So können weitere erfindungsgemäße Nukleinsäuresequenzen z.B. von SEQ ID NO:3 oder 5 abgeleitet sein und sich davon durch Addition, Substitution, Insertion oder Deletion einzelner oder mehrerer Nukleotide unterscheiden, aber weiterhin für Polypeptide mit dem gewünschten Eigenschaftsprofil kodieren.

40

Erfindungsgemäß umfasst sind auch solche Nukleinsäuresequenzen, die sogenannte stumme Mutationen umfassen oder entsprechend der Codon-Nutzung eines speziellen Ursprungs- oder Wirtsorganismus, im Vergleich zu einer konkret genannten Sequenz verändert sind, ebenso wie natürlich vorkommende Varianten, wie z.B. Spleißvarianten oder Allelvarianten, davon.

Gegenstand sind ebenso durch konservative Nukleotidsubstitutionen (d.h. die betreffende Aminosäure wird durch eine Aminosäure gleicher Ladung, Größe, Polarität und/oder Löslichkeit ersetzt) erhältliche Sequenzen.

- 5 Gegenstand der Erfindung sind auch die durch Sequenzpolymorphismen von den konkret offenbarten Nukleinsäuren abgeleiteten Moleküle. Diese genetischen Polymorphismen können zwischen Individuen innerhalb einer Population aufgrund der natürlichen Variation existieren. Diese natürlichen Variationen bewirken üblicherweise eine Varianz von 1 bis 5 % in der Nukleotidsequenz eines Gens.

10

Unter Derivaten einer erfindungsgemäßen Nukleinsäuresequenz sind beispielsweise Allelvarianten zu verstehen, die mindestens 40 % Homologie auf der abgeleiteten Aminosäureebene, bevorzugt mindestens 60 % Homologie, ganz besonders bevorzugt mindestens 80, 85, 90, 93, 95 oder 98 % Homologie über den gesamten Sequenzbereich aufweisen (bezüglich Homologie auf Aminosäureebene sei auf obige Ausführungen zu den Polypeptiden verwiesen auf). Über Teilbereiche der Sequenzen können die Homologien vorteilhaft höher liegen.

15

- 20 Weiterhin sind unter Derivaten auch Homologe der erfindungsgemäßen Nukleinsäuresequenzen beispielsweise pilzliche oder bakterielle Homologe, verkürzte Sequenzen, Einzelstrang-DNA oder RNA der kodierenden und nichtkodierenden DNA-Sequenz, zu verstehen. So besitzen z.B. auf DNA-Ebene eine Homologie von mindestens 40 %, bevorzugt von mindestens 60 %, besonders bevorzugt von mindestens 70 %, ganz besonders bevorzugt von mindestens 80 % über den gesamten angegebenen DNA-Bereich.

25

Außerdem sind unter Derivaten beispielsweise Fusionen mit Promotoren zu verstehen. Die Promotoren, die den angegebenen Nukleotidsequenzen vorgeschaltet sind, können durch ein oder mehrere Nukleotidaustausche, Insertionen, Inversionen und/oder Deletionen verändert sein, ohne dass aber die Funktionalität bzw. Wirksamkeit der Promotoren beeinträchtigt sind. Des weiteren können die Promotoren durch Veränderung ihrer Sequenz in ihrer Wirksamkeit erhöht oder komplett durch wirksamere Promotoren auch artfremder Organismen ausgetauscht werden.

30

- 35 Unter Derivaten sind auch Varianten zu verstehen, deren Nukleotidsequenz im Bereich von -1 bis -1000 Basen stromaufwärts vor dem Startkodon oder 0 bis 1000 Basen stromabwärts nach dem Stopkodon so verändert wurden, dass die Genexpression und/oder die Proteinexpression verändert, bevorzugt erhöht wird.

- 40 Weiterhin umfasst die Erfindung auch Nukleinsäuresequenzen, welchen mit oben genannten kodierenden Sequenzen unter „stringenten Bedingungen“ hybridisieren. Diese Polynukleotide lassen sich bei der Durchmusterung von genomischen oder cDNA-Banken auffinden und gegebenenfalls daraus mit geeigneten Primern mittels PCR vermehren und anschließend beispielsweise mit geeigneten Sonden isolieren. Darüber

hinaus können erfindungsgemäße Polynukleotide auch auf chemischem Wege synthetisiert werden. Unter dieser Eigenschaft versteht man die Fähigkeit eines Poly- oder Oligonukleotids unter stringenten Bedingungen an eine nahezu komplementäre Sequenz zu binden, während unter diesen Bedingungen unspezifische Bindungen zwischen nicht-komplementären Partnern unterbleiben. Dazu sollten die Sequenzen zu 70-100%, vorzugsweise zu 90-100%, komplementär sein. Die Eigenschaft komplementärer Sequenzen, spezifisch aneinander binden zu können, macht man sich beispielsweise in der Northern- oder Southern-Blot-Technik oder bei der Primerbindung in PCR oder RT-PCR zunutze. Üblicherweise werden dazu Oligonukleotide ab einer Länge von 30 Basenpaaren eingesetzt. Unter stringenten Bedingungen versteht man beispielsweise in der Northern-Blot-Technik die Verwendung einer 50 – 70 °C, vorzugsweise 60 – 65 °C warmen Waschlösung, beispielsweise 0,1x SSC-Puffer mit 0,1% SDS (20x SSC: 3M NaCl, 0,3M Na-Citrat, pH 7,0) zur Elution unspezifisch hybridisierter cDNA-Sonden oder Oligonukleotide. Dabei bleiben, wie oben erwähnt, nur in hohem Maße komplementäre Nukleinsäuren aneinander gebunden. Die Einstellung stringenter Bedingungen ist dem Fachmann bekannt und ist z.B. in Ausubel et al., Current Protocols in Molecular Biology, John Wiley & Sons, N.Y. (1989), 6.3.1-6.3.6. beschrieben.

20 Ausgestaltungen erfindungsgemäßer Konstrukte

Gegenstand der Erfindung sind außerdem Expressionskonstrukte, enthaltend unter der genetischen Kontrolle regulativer Nukleinsäuresequenzen eine für ein erfindungsgemäßes Polypeptid kodierende Nukleinsäuresequenz; sowie Vektoren, umfassend wenigstens eines dieser Expressionskonstrukte.

Vorzugsweise umfassen solche erfindungsgemäßen Konstrukte 5'-stromaufwärts von der jeweiligen kodierenden Sequenz einen Promotor und 3'-stromabwärts eine Terminatorsequenz sowie gegebenenfalls weitere übliche regulative Elemente, und zwar jeweils operativ verknüpft mit der kodierenden Sequenz.

Unter einer „operativen Verknüpfung“ versteht man die sequentielle Anordnung von Promotor, kodierender Sequenz, Terminator und gegebenenfalls weiterer regulativer Elemente derart, dass jedes der regulativen Elemente seine Funktion bei der Expression der kodierenden Sequenz bestimmungsgemäß erfüllen kann. Beispiele für operativ verknüpfbare Sequenzen sind Targeting-Sequenzen sowie Enhancer, Polyadenylierungssignale und dergleichen. Weitere regulative Elemente umfassen selektierbare Marker, Amplifikationssignale, Replikationsursprünge und dergleichen. Geeignete regulatorische Sequenzen sind z.B. beschrieben in Goeddel, Gene Expression Technology: Methods in Enzymology 185, Academic Press, San Diego, CA (1990).

Unter einem erfindungsgemäßen Nukleinsäurekonstrukt sind insbesondere solche zu verstehen, bei welchen das Gen für eine erfindungsgemäße Dehydrogenase mit einem

oder mehreren Regulationssignalen zur Steuerung, z.B. Erhöhung, der Genexpression operativ oder funktionell verknüpft wurden.

5 Zusätzlich zu diesen Regulationssequenzen kann die natürliche Regulation dieser Sequenzen vor den eigentlichen Strukturgenen noch vorhanden sein und gegebenenfalls genetisch verändert worden sein, so dass die natürliche Regulation ausgeschaltet und die Expression der Gene erhöht wurde. Das Nukleinsäurekonstrukt kann aber auch einfacher aufgebaut sein, das heißt es wurden keine zusätzlichen Regulationssignale vor die kodierende Sequenz inseriert und der natürliche Promotor mit seiner Regulation wurde nicht entfernt. Stattdessen wird die natürliche Regulationssequenz so mutiert, dass keine Regulation mehr erfolgt und die Genexpression gesteigert wird.

15 Ein bevorzugtes Nukleinsäurekonstrukt enthält vorteilhafterweise auch eine oder mehrere der schon erwähnten "Enhancer" Sequenzen, funktionell verknüpft mit dem Promotor, die eine erhöhte Expression der Nukleinsäuresequenz ermöglichen. Auch am 3'-Ende der DNA-Sequenzen können zusätzliche vorteilhafte Sequenzen inseriert werden, wie weitere regulatorische Elemente oder Terminatoren. Die erfindungsgemäßen Nukleinsäuren können in einer oder mehreren Kopien im Konstrukt enthalten sein. Im Konstrukt können noch weitere Marker, wie Antibiotikaresistenzen oder Auxotrophien
20 komplementierende Gene, gegebenenfalls zur Selektion auf das Konstrukt enthalten sein.

Vorteilhafte Regulationssequenzen für das erfindungsgemäße Verfahren sind beispielsweise in Promotoren wie cos-, tac-, trp-, tet-, trp-tet-, lpp-, lac-, lpp-lac-, lacI^q, T7-, T5-, T3-, gal-, trc-, ara-, rhaP (rhaP_{BAD})SP6-, lambda-P_R- oder im lambda-P_L-Promotor enthalten, die vorteilhafterweise in gram-negativen Bakterien Anwendung finden. Weitere vorteilhafte Regulationssequenzen sind beispielsweise in den gram-positiven Promotoren amy und SPO2, in den Hefe- oder Pilzpromotoren ADC1, MFalpha, AC, P-60, CYC1, GAPDH, TEF, rp28, ADH enthalten. In diesem Zusammenhang sind auch die Promotoren der Pyruvatdecarboxylase und der Methanoloxidase, beispielsweise aus Hansenula vorteilhaft. Es können auch künstliche Promotoren für die Regulation verwendet werden.

35 Das Nukleinsäurekonstrukt wird zur Expression in einem Wirtsorganismus vorteilhafterweise in einen Vektor, wie beispielsweise einem Plasmid oder einem Phagen inseriert, der eine optimale Expression der Gene im Wirt ermöglicht. Unter Vektoren sind außer Plasmiden und Phagen auch alle anderen dem Fachmann bekannten Vektoren, also z.B. Viren, wie SV40, CMV, Baculovirus und Adenovirus, Transposons, IS-Elemente, Phasmide, Cosmide, und lineare oder zirkuläre DNA zu verstehen. Diese
40 Vektoren können autonom im Wirtsorganismus repliziert oder chromosomal repliziert werden. Diese Vektoren stellen eine weitere Ausgestaltung der Erfindung dar. Geeignete Plasmide sind beispielsweise in E. coli pLG338, pACYC184, pBR322, pUC18, pUC19, pKC30, pRep4, pHS1, pKK223-3, pDHE19.2, pHS2, pPLc236, pMBL24, pLG200, pUR290, pIN-III¹¹³-B1, lgt11 oder pBdCI, in Streptomyces pIJ101, pIJ364,

pIJ702 oder pIJ361, in *Bacillus* pUB110, pC194 oder pBD214, in *Corynebacterium* pSA77 oder pAJ667, in Pilzen pALS1, pIL2 oder pBB116, in Hefen 2alphaM, pAG-1, YE_p6, YE_p13 oder pEMBL_Ye23 oder in Pflanzen pLGV23, pGHlac⁺, pBIN19, pAK2004 oder pDH51. Die genannten Plasmide stellen eine kleine Auswahl der möglichen

5 Plasmide dar. Weitere Plasmide sind dem Fachmann wohl bekannt und können beispielsweise aus dem Buch *Cloning Vectors* (Eds. Pouwels P. H. et al. Elsevier, Amsterdam-New York-Oxford, 1985, ISBN 0 444 904018) entnommen werden.

Vorteilhafterweise enthält das Nukleinsäurekonstrukt zur Expression der weiteren enthaltenen Gene zusätzlich noch 3'- und/oder 5'-terminale regulatorische Sequenzen zur

10 Steigerung der Expression, die je nach ausgewähltem Wirtorganismus und Gen oder Gene für eine optimale Expression ausgewählt werden.

Diese regulatorischen Sequenzen sollen die gezielte Expression der Gene und der Proteinexpression ermöglichen. Dies kann beispielsweise je nach Wirtsorganismus

15 bedeuten, dass das Gen erst nach Induktion exprimiert oder überexprimiert wird, oder dass es sofort exprimiert und/oder überexprimiert wird.

Die regulatorischen Sequenzen bzw. Faktoren können dabei vorzugsweise die Genexpression der eingeführten Gene positiv beeinflussen und dadurch erhöhen. So

20 kann eine Verstärkung der regulatorischen Elemente vorteilhafterweise auf der Transkriptionsebene erfolgen, indem starke Transkriptionssignale wie Promotoren und/oder "Enhancer" verwendet werden. Daneben ist aber auch eine Verstärkung der Translation möglich, indem beispielsweise die Stabilität der mRNA verbessert wird.

In einer weiteren Ausgestaltungsform des Vektors kann der das erfindungsgemäße Nukleinsäurekonstrukt oder die erfindungsgemäße Nukleinsäure enthaltende Vektor

25 auch vorteilhafterweise in Form einer linearen DNA in die Mikroorganismen eingeführt werden und über heterologe oder homologe Rekombination in das Genom des Wirtsorganismus integriert werden. Diese lineare DNA kann aus einem linearisierten Vektor wie einem Plasmid oder nur aus dem Nukleinsäurekonstrukt oder der erfindungsgemäßen Nukleinsäure bestehen.

30

Für eine optimale Expression heterologer Gene in Organismen ist es vorteilhaft die

35 Nukleinsäuresequenzen entsprechend des im Organismus verwendeten spezifischen "codon usage" zu verändern. Der "codon usage" läßt sich anhand von Computerauswertungen anderer, bekannter Gene des betreffenden Organismus leicht ermitteln.

Die Herstellung einer erfindungsgemäßen Expressionskassette erfolgt durch Fusion

40 eines geeigneten Promotors mit einer geeigneten kodierenden Nukleotidsequenz sowie einem Terminator- oder Polyadenylierungssignal. Dazu verwendet man gängige Rekombinations- und Klonierungstechniken, wie sie beispielsweise in T. Maniatis, E.F. Fritsch und J. Sambrook, *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY (1989) sowie in T.J. Silhavy, M.L. Berman und

L.W. Enquist, Experiments with Gene Fusions, Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY (1984) und in Ausubel, F.M. et al., Current Protocols in Molecular Biology, Greene Publishing Assoc. and Wiley Interscience (1987) beschrieben sind.

- 5 Das rekombinante Nukleinsäurekonstrukt bzw. Genkonstrukt wird zur Expression in einem geeigneten Wirtsorganismus vorteilhafterweise in einen wirtsspezifischen Vektor insertiert, der eine optimale Expression der Gene im Wirt ermöglicht. Vektoren sind dem Fachmann wohl bekannt und können beispielsweise aus "Cloning Vectors" (Pouwels P. H. et al., Hrsg, Elsevier, Amsterdam-New York-Oxford, 1985) entnommen werden.
- 10

Erfindungsgemäß brauchbare Wirtsorganismen

- 15 Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vektoren oder Konstrukte sind rekombinante Mikroorganismen herstellbar, welche beispielsweise mit wenigstens einem erfindungsgemäßen Vektor transformiert sind und zur Produktion der erfindungsgemäßen Polypeptide eingesetzt werden können. Vorteilhafterweise werden die oben beschriebenen erfindungsgemäßen rekombinanten Konstrukte in ein geeignetes Wirtssystem eingebracht und exprimiert. Dabei werden vorzugsweise dem Fachmann bekannte geläufige Klonierungs- und Transfektionsmethoden, wie beispielsweise Co-Präzipitation, Pro-
- 20 toplastenfusion, Elektroporation, retrovirale Transfektion und dergleichen, verwendet, um die genannten Nukleinsäuren im jeweiligen Expressionssystem zur Expression zu bringen. Geeignete Systeme werden beispielsweise in Current Protocols in Molecular Biology, F. Ausubel et al., Hrsg., Wiley Interscience, New York 1997, oder Sambrook et al. Molecular Cloning: A Laboratory Manual. 2. Aufl., Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, NY, 1989 beschrieben.
- 25

- 30 Erfindungsgemäß sind auch homolog rekombinierte Mikroorganismen herstellbar. Dazu wird ein Vektor hergestellt, der zumindest einen Abschnitt eines erfindungsgemäßen Gens oder einer kodierenden Sequenz enthält, worin gegebenenfalls wenigstens eine Aminosäure-Deletion, -Addition oder -Substitution eingebracht worden ist, um die erfindungsgemäße Sequenz zu verändern, z.B. funktionell zu disruptieren ("Knock-out"-Vektor). Die eingebrachte Sequenz kann z.B. auch ein Homologes aus einem verwandten Mikroorganismus sein oder aus einer Säugetier-, Hefe- oder Insektenquelle abgeleitet sein. Der zur homologen Rekombination verwendete Vektor kann alternativ derart ausgestaltet sein, daß das endogene Gen bei homologer Rekombination mutiert oder anderweitig verändert ist, jedoch noch das funktionelle Protein kodiert (z.B. kann der stromaufwärts gelegene regulatorische Bereich derart verändert sein, dass dadurch die Expression des endogenen Proteins verändert wird). Der veränderte
- 35
- 40 Abschnitt des erfindungsgemäßen Gens ist im homologen Rekombinationsvektor. Die Konstruktion geeigneter Vektoren zur homologen Rekombination ist z.B. beschrieben in Thomas, K.R. und Capecchi, M.R. (1987) Cell 51:503.

Als rekombinante Wirtsorganismen für die erfindungsgemäße Nukleinsäure oder dem Nukleinsäurekonstrukt kommen prinzipiell alle prokaryontischen oder eukaryontischen Organismen in Frage. Vorteilhafterweise werden als Wirtsorganismen Mikroorganismen wie Bakterien, Pilze oder Hefen verwendet. Vorteilhaft werden gram-positive oder gram-negative Bakterien, bevorzugt Bakterien der Familien Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae, Rhizobiaceae, Streptomycetaceae oder Nocardiaceae, besonders bevorzugt Bakterien der Gattungen Escherichia, Pseudomonas, Streptomyces, Nocardia, Burkholderia, Salmonella, Agrobacterium oder Rhodococcus verwendet. Ganz besonders bevorzugt ist die Gattung und Art Escherichia coli. Weitere vorteilhafte Bakterien sind darüber hinaus in der Gruppe der alpha-Proteobakterien, beta-Proteobakterien oder gamma-Proteobakterien zu finden.

Der Wirtsorganismus oder die Wirtsorganismen gemäß der Erfindung enthalten dabei vorzugsweise mindestens eine der in dieser Erfindung beschriebenen Nukleinsäuresequenzen, Nukleinsäurekonstrukte oder Vektoren, die für ein Enzym mit erfindungsgemäßer Dehydrogenaseaktivität kodieren.

Die im erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Organismen werden je nach Wirtsorganismus in dem Fachmann bekannter Weise angezogen bzw. gezüchtet. Mikroorganismen werden in der Regel in einem flüssigen Medium, das eine Kohlenstoffquelle meist in Form von Zuckern, eine Stickstoffquelle meist in Form von organischen Stickstoffquellen wie Hefeextrakt oder Salzen wie Ammoniumsulfat, Spurenelemente wie Eisen-, Mangan-, Magnesiumsalze und gegebenenfalls Vitamine enthält, bei Temperaturen zwischen 0 °C und 100 °C, bevorzugt zwischen 10 °C bis 60 °C unter Sauerstoffbegasung angezogen. Dabei kann der pH der Nährflüssigkeit auf einen festen Wert gehalten werden, das heißt während der Anzucht reguliert werden oder nicht. Die Anzucht kann „batch“-weise, „semi batch“-weise oder kontinuierlich erfolgen. Nährstoffe können zu Beginn der Fermentation vorgelegt oder semikontinuierlich oder kontinuierlich nachgefüttert werden. Das Keton kann direkt zur Anzucht gegeben werden oder vorteilhaft nach Anzucht. Die Enzyme können nach dem in den Beispielen beschriebenen Verfahren aus den Organismen isoliert werden oder als Rohextrakt für die Reaktion verwendet werden.

Rekombinante Herstellung der erfindungsgemäßer Polypeptide

Gegenstand der Erfindung sind weiterhin Verfahren zur rekombinanten Herstellung erfindungsgemäßer Polypeptide oder funktioneller, biologisch aktiver Fragmente davon, wobei man einen Polypeptide-produzierenden Mikroorganismus kultiviert, gegebenenfalls die Expression der Polypeptide induziert und diese aus der Kultur isoliert. Die Polypeptide können so auch in großtechnischem Maßstab produziert werden, falls dies erwünscht ist.

Der rekombinante Mikroorganismus kann nach bekannten Verfahren kultiviert und fermentiert werden. Bakterien können beispielsweise in TB- oder LB-Medium und bei

einer Temperatur von 20 bis 40°C und einem pH-Wert von 6 bis 9 vermehrt werden. Im Einzelnen werden geeignete Kultivierungsbedingungen beispielsweise in T. Maniatis, E.F. Fritsch and J. Sambrook, Molecular Cloning: A Laboratory Manual, Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY (1989) beschrieben.

5

Die Zellen werden dann, falls die Polypeptide nicht in das Kulturmedium sezerniert werden, aufgeschlossen und das Produkt nach bekannten Proteinisolierungsverfahren aus dem Lysat gewonnen. Die Zellen können wahlweise durch hochfrequenten Ultraschall, durch hohen Druck, wie z.B. in einer French-Druckzelle, durch Osmolyse, durch
10 Einwirkung von Detergenzien, lytischen Enzymen oder organischen Lösungsmitteln, durch Homogenisatoren oder durch Kombination mehrerer der aufgeführten Verfahren aufgeschlossen werden.

15

Eine Aufreinigung der Polypeptide kann mit bekannten, chromatographischen Verfahren erzielt werden, wie Molekularsieb-Chromatographie (Gelfiltration), wie Q-Sephrose-Chromatographie, Ionenaustausch-Chromatographie und hydrophobe Chromatographie, sowie mit anderen üblichen Verfahren wie Ultrafiltration, Kristallisation, Aussalzen, Dialyse und nativer Gelelektrophorese. Geeignete Verfahren werden beispielsweise in Cooper, F. G., Biochemische Arbeitsmethoden, Verlag Walter de
20 Gruyter, Berlin, New York oder in Scopes, R., Protein Purification, Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin beschrieben.

25

Vorteilhaft kann es sein, zur Isolierung des rekombinanten Proteins Vektorsysteme oder Oligonukleotide zu verwenden, die die cDNA um bestimmte Nukleotidsequenzen verlängern und damit für veränderte Polypeptide oder Fusionsproteine kodieren, die z.B. einer einfacheren Reinigung dienen. Derartige geeignete Modifikationen sind beispielsweise als Anker fungierende sogenannte "Tags", wie z.B. die als Hexa-Histidin-Anker bekannte Modifikation oder Epitope, die als Antigene von Antikörpern erkannt werden können (beschrieben zum Beispiel in Harlow, E. and Lane, D., 1988, Antibodies: A Laboratory Manual. Cold Spring Harbor (N.Y.) Press). Diese Anker können zur
30 Anheftung der Proteine an einen festen Träger, wie z.B. einer Polymermatrix, dienen, die beispielsweise in einer Chromatographiesäule eingefüllt sein kann, oder an einer Mikrotiterplatte oder an einem sonstigen Träger verwendet werden kann.

35

Gleichzeitig können diese Anker auch zur Erkennung der Proteine verwendet werden. Zur Erkennung der Proteine können außerdem übliche Marker, wie Fluoreszenzfarbstoffe, Enzymmarker, die nach Reaktion mit einem Substrat ein detektierbares Reaktionsprodukt bilden, oder radioaktive Marker, allein oder in Kombination mit den Ankern zur Derivatisierung der Proteine verwendet werden.

40

Weitere Ausgestaltungen zur Durchführung des erfindungsgemäßen enzymatischen Reduktionsverfahrens

Die Dehydrogenasen können im erfindungsgemäßen Verfahren als freies oder immobilisiertes Enzym verwendet werden.

5 Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorteilhaft bei einer Temperatur zwischen 0 °C bis 95 °C, bevorzugt zwischen 10 °C bis 85 °C, besonders bevorzugt zwischen 15 °C bis 75 °C durchgeführt.

10 Der pH-Wert im erfindungsgemäßen Verfahren wird vorteilhaft zwischen pH 4 und 12, bevorzugt zwischen pH 4,5 und 9, besonders bevorzugt zwischen pH 5 und 8 gehalten.

15 Unter enantiomerenreinen bzw. chiralen Produkten, wie 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-(S)-propan-1-ol, sind im erfindungsgemäßen Verfahren Enantiomere zu verstehen, die eine Enantiomerenanreicherung zeigen. Bevorzugt werden im Verfahren Enantiomerenreinheiten von mindestens 70 %ee, bevorzugt von min. 80 %ee, besonders bevorzugt von min. 90 %ee, ganz besonders bevorzugt min. 98 %ee erreicht.

20 Für das erfindungsgemäße Verfahren können wachsende Zellen verwendet werden, die die erfindungsgemäßen Nukleinsäuren, Nukleinsäurekonstrukte oder Vektoren enthalten. Auch ruhende oder aufgeschlossene Zellen können verwendet werden. Unter aufgeschlossenen Zellen sind beispielsweise Zellen zu verstehen, die über eine Behandlung mit beispielsweise Lösungsmitteln durchlässig gemacht worden sind, oder Zellen die über eine Enzymbehandlung, über eine mechanische Behandlung (z.B. French Press oder Ultraschall) oder über eine sonstige Methode aufgebrochen wurden. 25 Die so erhaltenen Rohextrakte sind für das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft geeignet. Auch gereinigte oder angereinigte Enzyme können für das Verfahren verwendet werden. Ebenfalls geeignet sind immobilisierte Mikroorganismen oder Enzyme, die vorteilhaft in der Reaktion Anwendung finden können.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren kann batchweise, semi-batchweise oder kontinuierlich betrieben werden.

35 Die Durchführung des Verfahrens kann vorteilhafterweise in Bioreaktoren erfolgen, wie z.B. beschrieben in Biotechnology, Band 3, 2. Auflage, Rehm et al Hrsg., (1993) insbesondere Kapitel II.

Die nachfolgenden Beispiele sollen die Erfindung veranschaulichen, ohne sie jedoch einzuschränken. Hierbei wird auf beiliegende Figuren Bezug genommen, dabei zeigt:

40 Figur 1 das aktivitätsgefärbte Gel einer erfindungsgemäß isolierten Dehydrogenase aus Lu10288; Spur 1: Molekulargewichtsstandards von unten: 47 kDa, 74 kDa, 121 kDa, 205 kDa; Spur 2: leer; Spur 3: Homogenat Überstand; Spur 4: Wertfraktion Q-Sepharose; Spur 5: Wertfraktion Q-Sepharose (dreifache Menge); Spur 6: Wertfraktion Superdex; Spur 7: Wertfraktion Mono-Q; Spur 8: Wertfraktion Mono-P;

Figur 2A und 2B einen typische Reaktionsverlauf verschiedener Ansätze zur Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I-S durch Reduktion mit einer Dehydrogenase aus *Lactobacillus brevis*.

5

Figur 3A das Ergebnis der N-terminalen Sequenzierung einer Blotbande von erfindungsgemäß isolierter Dehydrogenase aus Lu10288; und Figur 3B die Sequenzierdaten verschiedener proteolytischer Fragmente einer erfindungsgemäß gereinigten Dehydrogenase aus Lu10288; sofern bei mehreren Signalen pro Sequenzierschritt eine Hauptsequenz feststellbar war, ist diese doppelt unterstrichen dargestellt. Nicht lesbare Positionen sind mit „/“ gekennzeichnet; für Positionen deren Bestimmung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist, wird der Aminosäurerest in Klammern angegeben. Zwei Aminosäuren sind in einer Position angegeben, wenn keine eindeutige Präferenz angegeben werden kann. „?“ bedeutet eine unbekannte, bzw. nicht bestimmbare Aminosäure.

15

Beispiele

20 A. Chemische Beispiele

Beispiel 1: Herstellung von 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on III.1

33 kg Thiophen wurden in 150 kg Dichloethan vorgelegt und anschließend mit 62,7 kg Aluminiumtrichlorid versetzt. Das Reaktionsgemisch wurde auf 10 °C gekühlt und mit 55 kg 3-Chlorpropionsäurechlorid versetzt. Das Gemisch wurde anschließend 12 h bei Raumtemperatur gerührt. Die GC- und NMR-Kontrolle zeigten, dass das Reaktionsgemisch noch etwa 3-4 Mol-% 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propenon, bezogen auf die Summe aus gebildetem 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on und 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propenon, enthält. Daraufhin leitet man bei Raumtemperatur so lange (ca. 30 Minuten) Chlorwasserstoff ein, bis kein Propenon mehr nachweisbar war. Anschließend hydrolysierte man das Reaktionsgemisch durch Zugabe von 100 kg entionisiertem Wasser. Die organische Phase wurde abgetrennt und mit 100 kg entionisiertem Wasser gewaschen. Nach Entfernen des Lösungsmittels im Vakuum erhielt man 65,7 kg (96 % der Theorie) der Titelverbindung als Öl.

30

35

Beispiel 2: Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I durch Reduktion mit Natriumborhydrid

Das Propanon aus Beispiel 1 wurde in einem Gemisch aus 400 ml Toluol und 200 g Methanol bei 0 °C vorgelegt. Nach Zugabe von 2 g 30%iger wässriger Natriumhydroxidlösung wurden innerhalb von 2,5 h 21,4 g Natriumborhydrid portionsweise zugegeben. Nach 40 min Rühren bei 0 °C wurde das Reaktionsgemisch mit 12,1 g 40%ige wässrige Methylaminlösung versetzt. Das Gemisch wurde 6 h bei 60 °C unter Eigen-

40

druck gerührt. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur entfernte man das Lösungsmittel, digerierte den Rückstand mit Toluol und filtrierte davon ab. Das Filtrat wurde getrocknet und man erhielt 175,8 g der Titelverbindung in Form eines hellgelben Feststoffs.

5

B. Biochemische Beispiele:

Beispiel 3: Bereitstellung von Glucose-Dehydrogenase zur Cofaktor-Regenerierung

- 10 Zur Cofaktor-Regenerierung konnte Glucose-Dehydrogenase aus kommerziellen Quellen (z.B. Jülich Fine Chemicals Order-No. 22.10 oder 19.10) oder eigenen Quellen verwendet werden, wobei letztere ein E.coli XL10 Gold pUC19-Klon war, der das Glucose-Dehydrogenase-Gen aus *Bacillus subtilis* (Genbank-Acc.No. M12276) enthielt (Lu11293).

15

Zur Fermentation von E. coli Lu11293 wurde folgendes Medium angesetzt:

560 g	Hefeextrakt (65 %)
448 g	Trypton (Difco)
42 g	KH_2PO_4
84 g	Na_2HPO_4
644 g	Glycerin (99%)
100 mL	SL4 Lösung (5 fach)
1 g	Tegosipon 3062
	Medium mit Wasser auf 13,5 L auffüllen, pH-Wert auf 7,0 einstellen, ca. 300 mL für Vorkultur entnehmen, danach 30 min. bei 122 °C sterilisieren.
	Sterile Salzlösung* zugeben (vorher die Salzlösung für die Schüttelkolben entnehmen, siehe Rapport).

- 20 *Salzlösung: 2,1 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
 3,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
 14 g NH_4Cl
 + 14 mL Ampicillin-Lösung (100 mg/mL)
 in 500 mL Wasser lösen und sterilfiltrieren

25

Jeweils 150 ml Medium wurden in zwei 1 l Erlenmeyerkolben sterilisiert und mit 5 ml steriler Salzlösung komplettiert. Nach Beimpfen von einer LB-Ampicillin-Agarplatte

M/44142

wurden die Vorkulturen 12 Stunden bei 37 °C und 200 UPM inkubiert und zum Fermentationsmedium gegeben. Die Fermentation wurde bei 37°C, 0,1 bar Innendruck, pH 7,0 (Regelung mit 20% Phosphorsäure und 25% NaOH) mit einer Begasungsrate von 7,5 L/min und 300 upm gestartet (Regelung pO₂ zwischen 20 und 50% mit 10-20 L/min Zuluft und 500-1500 Upm). Nach 2 h wurden zur Induktion 0,1 mM IPTG zugegeben und nach insgesamt 13 h die Fermentation beendet. Nach Ernte und Waschen der Zellen (1,3 kg) wurden diese bis zur Verwendung (2-20 g/L im Ansatz) bei -20°C gelagert.

Beispiel 4: Screening nach Dehydrogenasen zur Reduktion von 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-on

a) Verschiedene Bakterien- und Pilzstämmen (überwiegend aus verschiedenen Stammsammlungen) wurden 24 bis 48 h in 20 ml LB-Medium, MRS-Medium (Fa.Difco) oder GYP-Medium (verwendet für Hefen) (1% w/v D-Glucose, je 0.5 % w/v Hefeextrakt und Polypepton, pH 6.0) bei 30 oder 37°C angezogen, in 3mM Tris-HCl pH7.5 gewaschen und in 2 ml Puffer resuspendiert. Ein Aliquot wurde mit 1 Vol. Glaskugeln (0,3-0,5mm Durchmesser) in der Schwingmühle aufgeschlossen (3x5 min mit Zwischenkühlung á 10 min auf Eis). Nach Abtrennung der Trübung durch Zentrifugation (5 min 14000 U/min 4°C) wurde ein klarer Rohextrakt erhalten. Die Zellsuspensionen und Rohextrakte wurden anschließend getestet auf reduktive Aktivität für 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-on aus Beispiel 3).

Verwendeter Assay:

150 µl Zellen/Rohextrakt
50 µl 1 M Glukoselösung
50 µl Glukose-Dehydrogenase (12-15 U/µl; 20-200 mg BFM/ml) aus Beispiel 3
50 µl 2 mM NADH
50 µl 2 mM NADPH
10 µl 0,5 M 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-on in Methanol
190 µl 50 mM MES pH 6,0 oder Tris-HCl pH 7,5

Die Inkubation erfolgte bei 30 °C. Die Proben (200 µl) wurden mit 3 µl konz HCl nach 1, 2 oder 24 h abgestoppt. Nach Zentrifugation wurden die Überstände per HPLC auf 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-on und 3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-ol untersucht (Chromolith Speed ROD, RP-18e 50 - 4,6mm, Fluß 1,5 ml/min, 0,0 - 1,0 min: 35% Acetonitril+ 65% 10mM KH₂PO₄ Puffer pH 2,5; 1,1 - 1,3 min: 80% Acetonitril+ 20% 10mM KH₂PO₄ Puffer pH 2,5; 1,3 - 2,0 min: 35% Acetonitril+ 65% 10mM KH₂PO₄ Puffer pH 2,5; Detektion bei 230 nm (Alkohol) und 260 nm (Keton) bei einer Retentionszeit Rt = 1,250 min (3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-ol) und Rt = 1,500 min (3-Chlor-1-(thien-2-yl)propan-1-on); eventuelle Nebenprodukte aus HCl-Eliminierung (1-Thien-2-ylpropen-1-on und 1-Thien-2-ylpropen-1-ol) bei Rt = 0,971 min und Rt = 1,165 min).

- Ausgewählte Stämme wurden wiederholt getestet, wobei zur Bestimmung des Enantiomerenüberschusses (ee) die Proben mit Methyl-tert.-butylether (MTBE) oder Methylisobutylketon (MIBK) extrahiert und per chiraler GC- oder HPLC-Analytik charakterisiert wurden. Folgende Methoden wurden hierzu verwendet: GC: Hydrodex- β -6-TBDM, 25 m, 90°C 10min 5°C/min 180°C 10min, Laufzeit: 38 min, Inlets: Heater: 200°C, Pressure: 106.8 kPa, Total Flow: 102 ml/min, Split Ratio: 125:1, Split Flow: 99.8 ml/min, Detector: 200°C bzw. HPLC: Chiracel OD-H, 250*4,6mm (Daicel), 40°C, Fluß 1,0 ml/min, 0,0 - 1,0 min: 97,5% n-Hexan+2,5% Isopropanol; Detektion bei 230 nm (Alkohol) und 260 nm (Keton) bei Rt 9,50 (3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on), Rt 16,60 min (R-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol) und Rt 18,30 min (S-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol).

- 15 b) Verschiedene Lactobacillus-Stämme wurden neu isoliert

Die Lactobacillus brevis-Stämme Lu10288, 10290 und 10291 wurden wie folgt isoliert.

b1) Verwendete Medien

20 Kleymanns-Medium:

In 915ml werden folgende Substanzen gelöst

10g/l Trypton (Difco-Becton Dickinson)

7g/l Hefe Extrakt (Difco-Becton Dickinson)

2g/l Beef Extrakt (Difco-Becton Dickinson)

25 5 g/l Fructose

2 g/l Maltose

3,6 g/l Gluconsäure 50%

1,9 g/l Citronensäure*H₂O

5 g/l Acetat

30 1 g/l Tween 80

0,2 g/l MgSO₄*7H₂O

0,05 g/l MnSO₄

0,01 g/l FeSO₄

0,4 g/l L-Cystein

35 1,25 ml NH₄OH 25%

für Agarplatten: Zusatz von 2% Bacto Agar (Difco-Becton Dickinson)

Der pH der Lösung wurde auf 5,4 eingestellt.

Die Lösung wurde 15' bei 121°C autoklaviert.

- 40 Nach dem Autoklavieren wurden 50 ml sterile Glucoselösung (5g ad 50 ml H₂O) und 40ml Ethanol unter Rühren zugesetzt und Agar-Platten gegossen.

KMB-Medium:

10g/l Trypton (Difco-Becton Dickinson)

M/44142

7g/l Hefe Extrakt (Difco-Becton Dickinson)

2 g/l KH_2PO_4

1 g/l Tween 80

0,5 g/l $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

5 1 g/l MnSO_4

20g/l CaCO_3

10g/l Glucose

1,5% Agar für die Herstellung von Agarplatten

Die Lösung wurde 15' bei 121°C autoklaviert.

10 Die Glucose und das CaCO_3 (Riedel de Haen) wurden separat gelöst und autoklaviert und vor dem Plattengießen mit dem Agar vermischt.

b2) Isolierung der Mikroorganismen:

15 5-10 g Mais-Silage aus dem Norddeutschen Raum (LUFA-Oldenburg) wurde in einem 50 ml Erlenmeyerkolben anaerob bei 37 °C über Nacht mit 20 ml Saline inkubiert. Der erhaltenen flüssige Anteil wurde 1:100 in 50 ml Kleymanns Medium überimpft und anaerob 24h bei RT und leichtem Rühren inkubiert. Danach wurde die Zellsuspension auf die beschriebenen Kleymanns-Selektionsagarplatten ausplattiert. Die Platten wurden anaerob für 48-72h bei 37°C inkubiert und die erhaltenen Kolonien durch wiederholtes
20 Ausstreichen auf KMB-Medium isoliert.

25 In flüssigem KMB-Medium mit 20 g/l Fructose (24 h 37°C, 50 Upm) fand die Charakterisierung der Stämme durch Bestimmung des Säure-Fermentationsmusters statt (pH-Messung und Konzentrationsbestimmung von Glucose, Fructose, Lactat, Acetat, Ethanol per HPLC-Analyse der Kulturüberstände). Heterofermentative Stämme mit Acetat- und Lactatbildung wurden isoliert und per Analyse der 16sRNA systematisch charakterisiert.

c) Screening-Ergebnisse

30

Die Tabellen 1,2 und 3 zeigen beispielhafte Stämme bzw. die Umsätze und ee-Werte.

Tabelle 1

Lu Nr.:	Gattung	Art	Sammlung	Nummer
44	Byssochlamys	fulva	IMI	163641
105	Geotrichum	candidum	ATCC	28747
106	Geotrichum	candidum	ATCC	20141
582	Pichia	glucozyma	ATCC	18938
716	Hansenula	polymorpha	-	
908	Saccharomyces	rouxi	IFO	493
1844	Kluyveromyces	lactis	ATCC	56498

Lu Nr.:	Gattung	Art	Sammlung	Nummer
2707	Saccharomyces	cerevisiae	ATCC	9080
3458	Geotrichum	candidum	ATCC	34614
896	Geotrichum	vanrij	ATCC	22375
897	Geotrichum	fermentans	ATCC	56301
3458	Geotrichum	klebahnii	ATCC	20001
4986	Candida	utilis	-	
8472	Candida	magnoliae	ATCC	12573
1821	Candida	guilliermondii	ATCC	20403
1823	Candida	guilliermondii	ATCC	20474
8478	Candida	tropicalis	ATCC	24887
8833	Rhodotorula	aurantiaca	ATCC	32770
127	Pseudomonas	desmolytica	NRRL	3108
404	Rhodococcus	fragi	IFO	12049
444	Pseudomonas	paucimobilis	ATCC	10829
493	Pseudomonas	citronellolis	ATCC	13674
4006	Pseudomonas	lemoinei	NCIMB	9947
8099	Burkholderia	gladioli	ATCC	25417
8510	Rhodococcus	ruber	DSMZ	8316
10288	Lactobacillus	brevis	*	
10290	Lactobacillus	brevis	.*	
10291	Lactobacillus	brevis	.*	

Tabelle 2 Umsätze:

Lu Nr.:	Gattung	Art	OD 600	Umsatz 2h/mM	Umsatz 24h/mM
44	Byssochlamys	fulva	n.b.	0,0	0,2
105	Geotrichum	candidum	12,18	0,2	0,2
106	Geotrichum	candidum	7,8	3,1	4,1
582	Pichia	glucozyma	9,98	0,1	0,1
716	Hansenula	polymorpha	12,24	0,0	0,3
908	Saccharomyces	rouxi	8,78	0,0	0,3

Lu Nr.:	Gattung	Art	OD 600	Umsatz 2h/mM	Umsatz 24h/mM
1844	Kluyveromyces	lactis	13,86	0,0	0,3
2707	Saccharomyces	cerevisiae	10	0,2	0,4
3458	Geotrichum	candidum	8,26	0,2	0,4
896	Geotrichum	vanrij	11,36	0,03	n.b.
897	Geotrichum	fermentans	9,30	0,04	n.b.
3458	Geotrichum	klebahnii	10,84	0,08	n.b.
4986	Candida	utilis	11,06	0,0	0,2
1821	Candida	guilliermondii	5,76	0,09	n.b.
1823	Candida	guilliermondii	5,54	0,07	n.b.
8472	Candida	magnoliae	13,78	0,8	0,8
8478	Candida	tropicalis	2,6	0,05	n.b.
8833	Rhodotorula	aurantiaca	2,32	0,1	0,3
127	Pseudomonas	desmolytica	3,74	0,0	0,4
404	Rhodococcus	fragi	1,78	n.b.	0,3
493	Pseudomonas	citronellolis	3,54	n.b.	0,2
4006	Pseudomonas	lemoinei	2,24	n.b.	0,2
8099	Burkholderia	gladioli	15,34	0,1	0,2
8510	Rhodococcus	ruber	1,1	0,0	0,1
10288	Lactobacillus	brevis	4,89	0,2	0,4
10290	Lactobacillus	brevis	2,08	0,1	0,2
10291	Lactobacillus	brevis	2,84	0,2	0,2

n.b.; nicht bestimmt

Umsätze bezogen auf gebildeten 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol in mM

5 Tabelle 3 Testwiederholung mit ee-Wertbestimmung

Lu Nr.:	Gattung	Art	OD 600	Umsatz 2h/mM	ee-Wert 24h/%
10288	Lactobacillus	brevis	4,89	5,2	n.b.
105	Geotrichum	candidum	7,86	4,2	98
8472	Candida	magnoliae	6,56	0,13	56

Beispiel 5: Reinigung der Dehydrogenase aus Lactobacillus brevis

Zur Fermentation von Lactobacillus brevis Lu10288 wurde folgendes Medium angesetzt:

5

1400 g	Hefeextrakt (65 %)
44,1 g	Citronensäure
63 g	KH_2PO_4
21,5 g	$\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
4,1 g	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
21 g	Tween 80
15,4 g	$(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$
1 g	Tegosipon 3062
	Medium mit Wasser auf 12,6 l auffüllen, pH-Wert auf 5,8 einstellen, ca. 300 ml für Vorkulturen entnehmen; Sterilisation 30 min. bei 122 °C; 840 g Glukose + 860 ml Wasser lösen und sterilisieren; je 15 ml Glukoselösung zu 135 ml Vorkulturmedium in 1L-Kolben geben, Rest zum Fermentationsmedium zufügen.

2 Vorkulturen wurden von MRS-Agarplatte beimpft, 17 h bei 37°C, 200 Upm inkubiert und zum Fermentationsmedium gegeben. Die Fermentation wurde bei 37°C, 0,1 bar Innendruck, pH 5,8 mit einer Begasungsrate von 1 l/min und 100 Upm gestartet (keine p O_2 -Regelung) und nach 23 h bei einer OD600 von 14,8 beendet. Die Aktivität der gewaschenen Zellproben wurde analog zu Beispiel 4a) mit ruhenden Zellen in MES, pH6.0 bestimmt.

10

15

Die Reinigung der Dehydrogenase aus Lu10288 wurde wie folgt durchgeführt:

Homogenisation:

100g Biofeuchtmasse von Lu10288 (Lactobacillus brevis) wurden in 5 x 20g Portionen mit 100ml MES-Puffer, 1mM MgCl_2 , pH 7,1 resuspendiert und in einer Kugelmühle mit Glasperlen (0,1mm-0,2mm Durchmesser, 50ml resuspendierte Zellen zu 50ml Glasperlen) in 10 Portionen für 20 Minuten unter Eiskühlung bei 4000rpm homogenisiert. Die Glaskugeln wurden über eine G2 Glasnutsche abgetrennt und mit 20ml Puffer gewaschen. Das gesammelte Homogenat wurde dann in einem GSA Rotor bei 12000rpm für 20 Minuten geklärt (610ml).

20

25

a) Q-Sepharose Ionenaustausch-Chromatographie:

M/44142

Eine Q-Sepharose fast flow (Pharmacia) mit einem Durchmesser von 5cm und einem Volumen von 400 ml wurde in 20 mM MES-Puffer, 1 mM MgCl_2 , pH 6,8 äquilibriert. 610 ml Homogenat wurden mit 11 Tabletten Complete (Proteaseinhibitor-Mischung, Roche, Complete, EDTA-free; Cat. No.:1873580) versetzt und auf die Q-Sepharose-Säule bei einer Auftragsgeschwindigkeit von 10ml/min aufgetragen. Die Detektion bei 280 nm. Dann wurde im gleichen Puffer mit drei Säulenvolumina gewaschen. Zur Elution wurde ein linearer Gradient von 20 mM MES, 1 mM MgCl_2 , 1 M NaCl, pH 6,8 angelegt (in 100 Minuten von 0% NaCl nach 100% NaCl). Es wurden 10 ml Fraktionen gesammelt und getestet. Fraktion 42 bis 62 war im HPLC-Test mit 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on aktiv.

b) Superdex Molekularsieb-Chromatographie:

Eine Superdex 200 Molekularsiebsäule (Pharmacia) mit einem Durchmesser von 2,6 cm und einem Volumen von 240 ml wurde in 20 mM MES, 1 mM MgCl_2 , 1Tablette Complete pro Liter Puffer (EDTA frei), pH 7,1 äquilibriert. Die Wertfraktionen der Q-Sepharose wurden vereinigt (240ml) und durch langsame Zugabe von 124 g Ammoniumsulfat auf 80 %ige Sättigung eingestellt. Der pH wurde auf 7,1 gehalten. Die Lösung wurde 10 Minuten bei 4°C gerührt und dann 20 Minuten bei 12000 U/min abzentrifugiert. Das erhaltene Pellet wurde in 5 ml Äquibrierungspuffer resuspendiert und für 1 Stunde bei 4 Grad Celsius dialysiert (10 kDa Ausschlußvolumen). Die dialysierte Lösung wurde in zwei Teile à 9 ml aufgeteilt und auf die Molekularsiebsäule bei einem Fluß von 4ml pro Minute aufgetragen. 4 ml Fraktionen wurden gesammelt und getestet. Fraktionen 48 bis 56 waren wieder für beide Substrate aktiv.

c) Mono-Q Ionenaustausch-Chromatographie:

Eine präparative Mono-Q HR Säule (Pharmacia) mit einem Volumen von 20 ml wurde in 20 mM MES, 1mM MgCl_2 , pH 7,1 äquilibriert. 70 ml der vereinigten Wertfraktionen der Superdex wurden mit einer Flussgeschwindigkeit von 4 ml pro Minute aufgetragen. Nach dem Waschen der Säule wurde die Säule mit einem linearen Gradienten in 100 Minuten nach 100% 20 mM MES, 1 mM MgCl_2 , 0,5 M NaCl , pH 7,1 entwickelt. Es wurden 4 ml Fraktionen gesammelt. Aktive Fraktionen (Fraktion 36 bis 41) wurden vereinigt.

d) Mono-P Ionenaustausch-Chromatographie:

Eine Mono-P Säule (Pharmacia, 4 ml) wurde in 20 mM MOPS, 1mM MgCl_2 , pH 7,1 äquilibriert. 21 ml der Mono-Q Wertfraktion wurde bei einem Fluß von 0,75 ml/min aufgetragen. Nach dem Waschen bis zur Basislinie wurde ein linerarer Gradient in 100 Minuten nach 100% 20 mM MOPS, 1 mM MgCl_2 , 0,5 M NaCl, pH 7,1 angelegt. Fraktionen (0,75ml) wurden gesammelt. Aktive Fraktionen (34-39) wurden vereinigt.

Aktivitätsfärbung in Gelen:

Die Probe wurde mit dem gleichen Volumen Novex „Native Tris-Glycin“ Probenpuffer (Novex) verdünnt. Die Tris-Glycin-Gele von Anamed (ohne SDS, 1 mm dick, 10 Probenaschen) wurden in die Laufkammer eingebaut. Als Laufpuffer wurde Invitrogen

„Tris-Glycin Native“ Laufpuffer (Invitrogen) (10x) nach Verdünnung eingesetzt. Die Probenaschen wurden beladen und das Gel bei 200 V und ca 50 mA gestartet. Die Dauer der Elektrophorese betrug etwa 1,5 Stunden. Die Laufkammer stand in Eiswasser. Nachdem das Gel ausgebaut wurde kam es in eine Glasschale und wurde in 50mM MES, 8mM MgCl₂, pH 6,2 gewaschen und inkubiert.

Dann wurde zu diesem Gel in dieser Lösung 0,35mM NADP und 0,35mM NAD, 19,6mg NB-Tetrazolium und 2,1mg Phenazin Ethosulfat (PES) gegeben. Dann erfolgte die Zugabe des Substrates (3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol) ad 1mM Endkonzentration. Die Gele standen bis zur Färbung in Dunkelheit. Ein typisches Gel ist in Figur 1 gezeigt.

Bilanz der Isolierung von LU 10288 Dehydrogenase

Bezeichnung	Volumen [ml]	Protein [mg/ml]	Aktivität [U/l]	spezifische Aktivität [mU/mg]	ee-Wert (S) [%]	Protein gesamt [mg]	Aktivität gesamt [U]	Aus- beute Protein [%]	Aus- beute Aktivität in [%]
Zellsuspension	500		270,1		95,0	0,0	135,1	-	100,0
Homogenat	610	3,35	98,1	29,3	94,1	2043,5	59,6	100,0	44,3
WP-Q-Sephrose	240	2,25	49,3	21,9	97,0	540,0	11,8	26,4	8,8
WP-Superdex direkt best.*	70	2,17	134	61,8	45,3	151,9	9,38	7,4	6,95
WP-Superdex 8 Tage 4°C**	70	2,17	6,4	2,9	62,4	151,9	0,45	7,4	0,33
WP- Mono Q	21	0,31	9,6	31,0	67,1	6,5	0,20	0,32	0,15
WP-Mono P	4,2	0,91	29,8	32,7	71,3	3,8	0,13	0,19	0,09

Wp: Wertpeak-Fractionen

* Aktivitätsbestimmung der frischen Probe

** Aktivitätsbestimmung nach Lagerzeit

Der N-Terminus der so gereinigten Dehydrogenase wurde nach SDS-PAGE und Gelblotting mittels Edman-Sequenzierung bestimmt (SEQ ID NO: 1).

Beispiel 6: Reinigung der Dehydrogenase aus *Candida magnoliae*

Zur Fermentation von *Candida magnoliae* Lu8742 wurde 2 Vorkulturen in 150 ml Medium mit 8 g/l Hefeextrakt (65%), 5 g/l Pepton, 3,5 g/l Glucose, 5 g/l KH₂PO₄, 2 g/l MgSO₄ * 7H₂O, pH6,0 15 Stunden bei 28 °C und 200 Upm angezogen und in 13,2 l

M/44142

analoges Medium mit 10,7 g/l Glucose und 4 ml Tegosipon überimpft. Die Fermentation wurde bei 28°C, 0,1 bar Innendruck, pH 6,0 mit einer Begasungsrate von 5 l/min und 500 Upm gestartet (Regelung $pO_2 > 20\%$) und nach 26 h bei einer OD600 von 15,1 beendet.

5

Homogenisation:

Die geernteten Zellen (378 g Biofeuchtmasse) wurden in 1 l 50 mM MES +1 mM $MgCl_2$, pH 6,5 mit 10 Tabletten Protease-Inhibitor Complete(ohne EDTA), Fa. Roche, suspendiert (ca. 9 x Konz.) und 2 x mit 1000 bar in einem Microfluidizer Z04 aufgeschlossen. Nach Zentrifugation (20 min/10000 g) wurde die Hälfte des klaren Überstandes (1,3 l Homogenat) wie nachfolgend beschrieben gereinigt. Dabei wurden die Fraktions-Proben in geeigneter Verdünnung in 50 mM MES pH 6,0, 0,2 mM NaDH/NaDPH, 100 mM Glucose, 50 µl/ml GDH und 10 mM 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on bei 30°C auf Aktivität getestet.

15

Q-Sepharose Ionenaustausch-Chromatographie:

Eine Q-Sepharose fast flow (Pharmacia) mit einem Durchmesser von 5 cm und einem Volumen von 400 ml wurde in 20 mM MES-Puffer, 1 mM $MgCl_2$, pH 6,8 äquilibriert. 650 ml Homogenat wurden mit 11 Tabletten Complete (Proteaseinhibitor Mischung) versetzt und auf die Q-Sepharose-Säule bei einer Auftragsgeschwindigkeit von 7,5 ml/min aufgetragen. Die Detektion erfolgte bei 280 nm. Dann wurde mit 700 ml gleichem Puffer gewaschen. Zur Elution wurde ein linearer Gradient von 20 mM MES, 1 mM $MgCl_2$, 0,75 M NaCl, pH 6,8 angelegt (in 100 Minuten von 0% NaCl nach 100% NaCl) und mit 200 ml 20 mM MES, 1 mM $MgCl_2$, 0,75 M NaCl, pH 6,8 nachgewaschen. Es wurden 10 ml Fraktionen gesammelt und getestet. Fraktion 56 bis 96 war im HPLC-Test mit 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on aktiv.

25

Ammoniumsulfat-Fällung:

41 ml Q-Sepharose-Wertpeak-Fraktionen wurden ad 90 % mit $(NH_4)_2SO_4$ gesättigt (pH 6,2), 30 min bei 4°C gerührt und anschließend 10 min bei 10000 g zentrifugiert. Das erhaltene Pellet wurde in 10 ml 20 mM MES, 1 mM $MgCl_2$, 1 Tablette/l Complete(ohne EDTA), Fa. Roche, pH 6,2 suspendiert und 30 min gegen 20 mM MES, 1 mM $MgCl_2$, 1 Tablette/l Complete(ohne EDTA), Fa. Roche, pH 6,2, in einem Slide-A-Lyzer, Fa. Pierce (10 kDa Ausschlussvolumen), dialysiert.

35

Superdex Molekularsieb-Chromatographie:

Eine Superdex 200 Molekularsiebsäule (Pharmacia) mit einem Durchmesser von 2,6 cm und einem Volumen von 240 ml wurde in 20 mM MES, 1 mM $MgCl_2$, 1 Tablette Complete pro Liter Puffer (EDTA frei), pH 6,2 äquilibriert. Das Dialysat aus der Ammoniumsulfatfällung (2 x 7ml) wurde auf die Molekularsiebsäule bei einem Fluß von 4 ml pro Minute aufgetragen. 4 ml Fraktionen wurden gesammelt und getestet. Fraktionen 21 bis 24 waren wieder für beide Substrate aktiv.

40

Mono-Q Ionenaustausch-Chromatographie:

Eine Mono-Q HR5/5 Säule (Fa. Pharmacia) mit einem Volumen von 1 ml wurde in 20 mM MES, 1 mM MgCl₂, pH 6,8 äquilibriert. 10ml der vereinigten Wertfraktionen der Superdex-Säule wurden mit einer Flussgeschwindigkeit von 1ml pro Minute aufgetragen. Nach dem Waschen der Säule wurde die Säule mit einem linearen Gradienten in 100 Minuten nach 100% 20 mM MES, 1 mM MgCl₂, 0,75 M NaCl, pH 6,8 entwickelt und 10 min mit 20 mM MES, 1 mM MgCl₂, pH 6,8 nachgespült. Es wurden 1 ml Fraktionen gesammelt (Detektion 226 nm). Aktive Fraktionen (Fraktion 24 bis 27) wurden vereinigt.

10 Das Ergebnis der Isolierung ist in folgender Tabelle zusammengefasst

Probe	Vol. [ml]	Aktivität [U/l]	Gesamtaktivität [mU]	Aktivitätsausbeute [%]	Protein [g/L]	Gesamtprotein [mg]	Protein- ausbeute [%]	ee(*)	spez.Akt. [U/g Protein]
Homogenat	650	30	19500	100,0%	5,70	3705	100	72,1	5,3
Q-Wp	54	42,8	2310	11,8%	3,58	193	5,2	84,6	11,9
AS-Fäll.	18	217,2	4005	20,5%	5,49	101	2,7	91,3	39,6
Superdex-Wp	49	35,6	1733	8,9%	0,33	16,1	0,43	91,6	107,7
MonoQ-Wp	12	12,5	148	0,8%	0,05	0,44	0,01	97,0	253,0

* (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol

AS-Fäll.: Ammoniumsulfat-Fällung

Wp: Wertpeak-Fractionen

15

Der N-Terminus der so gereinigten Dehydrogenase wurde nach SDS-PAGE und Gelblotting mittels Edman-Sequenzierung bestimmt (SEQ ID NO: 2).

20

Beispiel 7: Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol I-S durch Reduktion mit einer Dehydrogenase aus *Lactobacillus brevis*

25

Lactobacillus brevis Lu10288 wurde wie in Beispiel 4 angezogen und geerntet. Die ruhenden Zellen (10-100 g/L Biomasse) wurden mit 0,2 - 2 mM NAD(P)⁺, 1 bis 100 g/L des Propanons aus Beispiel 1 (batch oder fed-batch) und 18 g/L Glucose versetzt und 2-8 h bei 30 °C inkubiert. Die Reaktion wurde durch Titration mit 0,5 M NaOH bei pH 6,0-7,0 gehalten und durch HPLC-Analytik verfolgt. Figuren 2A und B zeigen typische Verläufe gemäß den Ansätzen 1 bzw.2.

30

Ansatz 1:

9 ml Zellsuspension Lu10288 (mit 200g BFM / l)

M/44142

3 ml 1 M Glukose Lösung
3 ml 20 mM NADP Lösung
0,9 ml GDH Lösung (12-15 U/ μ l)
3 ml 1 M NaCl Lösung
11,1 ml Wasser
+ 10 mM Keton (aus Beispiel 1)
Nach 1 h wurden erneut 10 mM Keton zugegeben.

5

Ansatz 2:

9 ml Zellsuspension Lu10288 (200g BFM / l)
3 ml 1M Glukose-Lösung
3 ml 2 mM NADP-Lösung
3 ml 2 mM NAD-Lösung
0,9 ml GDH Lösung (12-15 U/ μ l)
3 ml 1M NaCl Lösung
11,1 ml Wasser
+ 10 mM Keton (0,6 ml 0,5 M Keton aus Beispiel 1 in Methanol)
Nach 45, 110, 180 und 300 min wurden erneut je 10 mM Keton zugegeben.

- 10 Im Anschluß wurde die Biomasse durch Zentrifugation und/oder Filtration entfernt. Die NMR-Analyse der MTBE-Extrakte ergab einen 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol-Gehalt von 60-70%. Die Gehalte an nicht umgesetztem 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on sowie an dem Nebenprodukt 1-Thien-2-yl-propen-1-on lagen je unter 10%. 1-Thien-2-yl-propen-1-ol konnte nur in Spuren detektiert werden.

15

Zu dem zellfreien wässrigen Ansatz gab man anschließend 1,1 g 40%ige wässrige Methylaminlösung zu. Das Gemisch wurde 6 h bei 60 °C unter Eigendruck gerührt. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur entfernte man das Lösungsmittel, digerierte den Rückstand mit Toluol und filtrierte davon ab. Alternativ konnte die Zellabtrennung nach der Aminierungsreaktion durchgeführt werden. Nach dem Trocknen des Filtrats erhielt man 202 mg der Titelverbindung in Form eines hellgelben Feststoffs. Man erhielt das S-Enantiomer in einem Enantiomerenüberschuss von 95 % ee. Die Bestimmung des ee-Wertes erfolgte durch Bestimmung des Drehwertes ($c = 1$, Lösungsmittel: Methanol) und mittels Shift-NMR (Shift-Reagenz: 2,2,2-Trifluor-1-(9-anthryl)ethanol (+) (TFAE) ; Lösungsmittel: CDCl_3 ; 500 MHz)

20

25

Beispiel 8: Klonierung der Dehydrogenase aus *Lactobacillus brevis* Lu10288

- a) Chromosomale DNA-Präparation aus LU10288 nach vorheriger Protoplastierung:

(1) Benötigte Lösungen

Lösung1: 0,41M Saccharose
0,01M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
5ml/l M12-Medium 1:2
10ml/l 10% KH_2PO_4 pH 6,7
2,5 mg/ml Lysozym (kurz vor Gebrauch zugeben)

Ansetzen der Lösung1 wie folgt:

- 10 14,03 g Saccharos, 0,25 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5ml M12 (10x conc) und 1 ml 10% KH_2PO_4 pH 6,7 auf 100 ml auffüllen und sterilfiltrieren.

Proteinase: Fa. Qiagen, 20mg/ml stock solution

- 15 **RNase:** Fa. Qiagen, 100mg/ml stock solution

TE-Puffer: 10mM Tris*Cl pH8, 1mM EDTA pH 8

(2) Anzucht und Aufschluß:

- 20 - Anzucht über Nacht in 100ml MRS- Medium (Fa. Difco) in 250ml Erlenmeyerkolben mit Schikanen bei 37°C und 200 rpm.
- Zellen zentrifugieren: 4000 rpm, 10 min, 4°C
- Überstand verwerfen und das Pellet in 5ml Lösung1(+ Lysozym) aufnehmen und gut resuspendieren. Im Brutschrank (37°C) 1 – 4h inkubieren.
- 25 - Protoplasten vorsichtig zentrifugieren: 3000 rpm, 10 min.
- Überstand verwerfen, Pellet mit 10 ml Lösung1 (ohne Lysozym) waschen: 3000 rpm, 4°C, 8 min.
- Überstand verwerfen, Pellet mit 10 ml 0,01 M Tris-HCl pH 8,0 waschen: 3000rpm, 4°C, 8 min.
- 30 - Überstand verwerfen, Pellet in 4 ml TE – Puffer resuspendieren.
- Zugabe von 0,5 ml 10% SDS und 0,5 ml 5M NaCl, vorsichtig mischen.
- Zugabe von 1 mg Proteinase K (Qiagen Proteinase: 20 mg/ml, also 50 µl) und Inkubation bei 37°C, über Nacht im Brutschrank.
- 35 - Diesen Ansatz mit TE – Puffer auf 20 ml auffüllen.

(3) Extraktion:

- 40 - Zugabe von Phenol 1:1, d.h. 20ml Phenol + 20 ml Ansatz. Vorsichtig mischen und bei 4°C, 4000 rpm, 5min zentrifugieren.
- Obere Phase abheben und in neues Falcon (20ml) überführen.
- Zugabe von 20ml Phenol:Chloroform:Isoamylalkohol (25:24:1). Vorsichtig mischen und bei 4°C, 4000rpm, 5min zentrifugieren.
- Obere Phase abheben und in neues Falcon (ca. 18ml) überführen.

- Zugabe von 18 ml Chloroform:Isoamylalkohol (24:1, also 18ml Chloroform+333µl Isoamylalkohol). Vorsichtig mischen und bei 4°C, 4000 rpm, 5min zentrifugieren. Diesen Schritt so lang wiederholen, bis obere Phase klar ist.
 - Obere Phase (18ml) mit 2 Volumen Ethanol (36ml) fällen. Zugabe von 1/50 3M Natriumacetat (ca. 360µl). Mindestens 30min bei -20°C fällen lassen. Danach bei 4°C, 12000 rpm, 30min zentrifugieren.
 - Überstand verwerfen, Pellet in 1–2ml TE–Puffer aufnehmen. Zugabe von 20µg RNase pro ml TE-Puffer.
- Inkubation: 1h, 37°C im H₂O-Bad.

(4) Dialyse:

Nach RNase-Behandlung füllt man den Ansatz in einen Dialyseschlauch. Es wird 3mal jeweils für 1 Stunde bei 4°C in 1,5l TE-Puffer dialysiert. Der letzte Dialyseschritt ist auch über Nacht möglich.

- Dialysierte DNA in Falcon füllen und auf mehrere Eppendorff-Gefäße verteilen (500µl).
- Zugabe von 2 Volumen Ethanol (1000µl) und 1/3 Volumen 2M LiCl (166µl).
- Fällung bei -20°C, mindestens 30min. Danach bei 4°C, 12000 rpm, 30min zentrifugieren.
- Überstand vorsichtig abschütten.
- Waschen des Pellets mit 20ml 70% Ethanol und bei 12000 rpm, 4°C, 15min zentrifugieren.
- Überstand vorsichtig abschütten, das Pellet an der Luft trocknen lassen und die DNA in entsprechendem Volumen 10mM Tris*HCl pH 8,0 aufnehmen (je nach Pelletgröße ab 100 µl).

Zur Verbesserung des RücklöSENS wurde die DNA 1-2 Stunden im Eppendorfschüttler bei 55-60°C bei leichter Schüttelfrequenz (400 rpm) inkubiert.

b) Aus der Proteinreinigung des Beispiels 5 wurden nach tryptischem Verdau und Edmannsequenzierung der Peptide weitere Aminosäuresequenzen erhalten. Ergebnisse der Sequenzanalyse sind in Fig. 3B zusammengestellt.

Die Sequenz FVVDGGYTAQ (vgl. V8-RP Fr.7) stellt aufgrund des Abbruchs vermutlich den C-Terminus dar. Von dieser und von der N-terminalen Aminosäuresequenz (SEQ ID NO. 1) wurden unter Berücksichtigung der Codon Usage von *Lactobacillus brevis* Nukleinsäuresequenzen abgeleitet (Primer Mke338 und 339), die wie folgt der Klonierung des Dehydrogenase-Gens durch PCR-Amplifikation an chromosomaler DNA aus Lu10288 (Protokoll siehe oben) dienen.

PCR:

M/44142

Template	Primer	Produkt Länge
Chromosomale DNA aus Lu10288 *	Mke338+Mke339	ca. 800 bp

* hergestellt gemäß Beispiel 8a)

Primer:

Primer Nr.	Sequenz (5'-3')	Position
Mke338	GGGAATTCCATATGTCTAACCGTTTGG	N-Term-Primer (NdeI)
Mke339	CGTAGGGAAGCTTATTGAGCAGTGTAGC	C-Term-Primer (HindIII)

5

Die PCR wurde nach Stratagene-Standardvorschrift mit Pfu-Polymerase (Stratagene) und dem folgenden Temperatur-Programm durchgeführt: 95°C für 5 Minuten; 30 Zyklen mit 95°C für 45 sec., 52°C für 45 sec, und 72°C für 1 min 20 sec; 72°C für 10 min.; 10°C bis zur Verwendung. Das PCR-Produkt (0,8 kB) wurde durch Agarosegel-Electrophorese (1,2%E-Gel, Invitrogen) und Säulen-Chromatographie (Mini-Elute, Qiagen) isoliert und anschließend mit NdeI/HindIII verdaut und in entsprechend verdauten pDHE19.2-Vektor (ein pJOE-Derivat, DE19848129) kloniert. Die Ligationsansätze wurden in E.coli XL1 Blue (Stratagene) transformiert. Die Sequenzierung entsprechender Klone ergab als Insert im so erhaltenen Plasmid pDHE10288adh1 die in SEQ ID NO:3 dargestellte Nukleinsäuresequenz, die der Aminosäuresequenz SEQ ID NO:4 entspricht. In ihr finden sich alle in Beispiel 5 und 8 identifizierten Peptide wieder.

SEQ ID NO: 4 Aminosäuresequenz der Dehydrogenase aus Lu10288

20

1 MSNRLDGKVA IVTGGTLGIG LAIATKFVEE GAKVMITGRH SDVGEKA
51 VGTPDQIQFF QHDSSDEDGW TKLFDATEKA FGPVSTLVNN AGIAVNKSVE
101 ETTTAEWRKL LAVNLDGVFF GTRLGIQRMK NKGLGASIIN MSSIEGFVGD
151 PSLGAYNASK GAVRIMSKSA ALDCALKDYD VRVNTVHPGY IKTPLVDDLP
201 GAEEAMSQRT KTPMGHIGEP NDIAYICVYL ASNESKFATG SEFVVDGGYT
25 251 AQ*

25

SEQ ID NO: 3 Nukleinsäuresequenz der Dehydrogenase aus Lu10288 (sowie Gegenstrang)

30

1 ATGTCTAACC GTTTGGATGG AAAAGTAGCA ATCGTTACAG GTGGTACGTT
TACAGATTGG CAAACCTACC TTTTCATCGT TAGCAATGTC CACCATGCAA
51 GGGTATCGGT TTAGCTATCG CCACGAAGTT CGTTGAAGAA GGGGCTAAGG
35 CCCATAGCCA AATCGATAGC GGTGCTTCAA GCAACTTCTT CCCCATTCC
101 TCATGATTAC CGGCCGGCAC AGCGATGTTG GTGAAAAAGC AGCTAAGAGT

5
10
15
20
25

151 AGTACTAATG GCCGGCCGTG TCGCTACAAC CACTTTTTTCG TCGATTCTCA
GTCGGCACTC CTGATCAGAT TCAATTTTTTC CAACATGATT CTTCCGATGA
CAGCCGTGAG GACTAGTCTA AGTTAAAAAG GTTGTACTAA GAAGGCTACT
201 AGACGGCTGG ACGAAATTAT TCGATGCAAC GGAAAAAGCC TTTGGCCCAG
TCTGCCGACC TGCTTTAATA AGCTACGTTG CCTTTTTTCGG AAACCGGGTC
251 TTTCTACATT AGTTAATAAC GCTGGGATCG CGGTAAACAA GAGTGTGCGAA
AAAGATGTAA TCAATTATTG CGACCCTAGC GCCAATTGTT CTCACAGCTT
301 GAAACCACGA CTGCTGAATG GCGTAAACTA TTAGCCGTC AACTTGATGG
CTTTGGTGCT GACGACTTAC CGCATTGAT AATCGGCAGT TGGAACTACC
351 TGTCTTCTTC GGTACCCGAT TAGGGATTCA ACGGATGAAG AACAAAGGCT
ACAGAAGAAG CCATGGGCTA ATCCCTAAGT TGCCTACTTC TTGTTTCCGA
401 TAGGGGCTTC CATCATCAAC ATGTCTTCGA TCGAAGGCTT TGTGGGTGAT
ATCCCCGAAG GTAGTAGTTG TACAGAAGCT AGCTTCCGAA ACACCCACTA
451 CCTAGCTTAG GGGCTTACAA CGCATCTAAA GGGGCCGTAC GGATTATGTC
GGATCGAATC CCCGAATGTT GCGTAGATTT CCCCGGCATG CCTAATACAG
501 CAAGTCAGCT GCCTTAGATT GTGCCCTAAA GGACTACGAT GTTCGGGTAA
GTTTCAGTCGA CGGAATCTAA CACGGGATTT CCTGATGCTA CAAGCCCATT
551 ACACTGTTCA CCCTGGCTAC ATCAAGACAC CATTGGTTGA TGACCTACCA
TGTGACAAGT GGGACCGATG TAGTTCTGTG GTAACCAACT ACTGGATGGT
601 GGGGCCGAAG AAGCGATGTC ACAACGGACC AAGACGCCAA TGGGCCATAT
CCCCGGCTTC TTCGCTACAG TGTTCCTGG TTCTGCGGTT ACCCGGTATA
651 CGGTGAACCT AACGATATTG CCTACATCTG TGTTTACTTG GCTTCTAACG
GCCACTTGGA TTGCTATAAC GGATGTAGAC ACAAATGAAC CGAAGATTGC
701 AATCTAAATT TGCAACGGGT TCTGAATTTG TAGTTGACGG TGGCTACACT
TTAGATTTAA ACGTTGCCCA AGACTTAAAC ATCAACTGCC ACCGATGTGA
751 GCTCAA
CGAGTT

Beispiel 9: Aktivitätsbestimmung der rekombinanten Dehydrogenase aus *Lactobacillus brevis* Lu10288

Das Plasmid pDHE10288adh1 wurde in *E.coli* TG10 pAgro4 pHSG575 retransformiert (TG10: ein RhaA-Derivat von *E.coli* TG1(Stratagene); pAgro4: Takeshita, S; Sato, M; Toba, M; Masahashi, W; Hashimoto-Gotoh, T (1987) Gene 61, 63-74; pHSG575: T. Tomoyasu et al (2001), Mol. Microbiol. 40(2), 397-413).

Je 6 Transformanten wurden in 20mL LBamp/Spec/Cm (100µg/l Amp; 50mg/lSpec; 10µg/lCm) 0,1mM IPTG 0,5g/L Rhamnose in 100mL Erlenmeyerkolben (Schikanen) 18 h bei 37°C angezogen, bei 5000g/10min zentrifugiert, einmal mit 10mM Tris/HCl pH7,0 gewaschen und in 2 ml des gleichen Puffers resuspendiert. 100 ml Zellsuspension wurden 20 min in 900 µl 50mM MES pH6 mit 50µl/ml Glucose-DH (Beispiel1), 100mM Glucose, 100mM NaCl, 1mM NADH, 1mM NADPH und mit 10 mM 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on schüttelnd inkubiert. Die Ansätze wurden analog zu Beispiel 4

analysiert. Im Durchschnitt wurden 0,13 mM 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol gebildet, was einer Aktivität von 6,6 U/L Kultursuspension entspricht. In analogen Ansätzen mit Rohextrakt, der durch Zellaufschluß mit 0,7ml Glaskugeln (d=0,5mm) in einer Schwingmühle (3x 5min mit Zwischenkühlung auf Eis) gewonnen wurde, wurden 0,21 mM 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol, entsprechend einer Aktivität von 10,7 U/L, gemessen. In Kontrollversuchen ohne Zusatz von Rhamnose bei der Anzucht war kein 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol detektierbar.

10 Beispiel 10: Klonierung der Dehydrogenase aus *Candida magnoliae* Lu8472

Aus der Proteinreinigung des Beispiels 6 wurden nach nochmaliger Bestimmung der N-terminalen Sequenz durch Edmannsequenzierung folgende Aminosäuresequenz erhalten:

15

(S,G oder T)(T oder P)TSNALVTGGSRGIGAA

Nach tryptischem Verdau und Edmannsequenzierung der Peptide wurde folgende weitere Aminosäuresequenz erhalten:

20

IGVNSINPG

Von den Peptiden wurden unter Berücksichtigung der Codon Usage von *Candida magnoliae* Nukleinsäuresequenzen abgeleitet (Primer Mke366, 367 und 374), die wie folgt der Klonierung des Dehydrogenase-Gens durch PCR-Amplifikation an chromosomaler DNA aus Lu8472 (Genomic DNA Kit mit dreifach konzentrierter Lyticase-Lösung, Qiagen, Hilden) dienen.

25

PCR:

Template	Primer	Produkt Länge
Chromosomale DNA aus Lu8472	Mke366/367+ Mke374	ca. 480 bp

30 Primer:

Primer Nr.	Sequenz (5'-3')	Position
Mke366	ACGACGACGAGCAACGCBCTBGTBACGG	N-Term-Primer
Mke367	ACGACGACGTCGAACGCBCTBGTBACGG	N-Term-Primer
Mke374	GCCGGGGTTGATSSWGTTTACGCCGAT	C-Term-Primer

Die Primer MKe366 und MKe367 wurden 1:1 gemischt. Die PCR wurde nach Stratagene-Standardvorschrift mit PfuTurbo-Polymerase (Stratagene) und dem folgenden Temperatur-Gradienten-Programm durchgeführt: 95°C für 1 Minuten; 30 Zyklen mit 95°C für 1 min., X°C¹ für 45 sec, und 72°C für 2 min; 72°C für 10 min.; 10°C bis zur Verwendung. Das PCR-Produkt (~0,5 kB) wurde durch Agarosegel-Electrophorese (1,2%E-Gel, Invitrogen) und Säulen-Chromatographie (GFX-Kit, Amersham Pharmacia) isoliert und anschließend sequenziert (Sequenzierprimer: Mke 366 und Mke374). Die erhaltene Sequenz ist in SEQ ID NO:5 dargestellt. Die daraus abgeleitete Aminosäuresequenz (SEQ ID NO:6) zeigt eine Identität von 53% zur Carbonyl-Reduktase aus *Candida magnoliae* (WO200140450). Die nach Proteinreinigung ermittelten Peptidsequenzen sind mit geringfügigen Abweichungen enthalten. Unterschiede könnten einerseits auf Sequenzierfehlern beruhen oder durch die Existenz mehrerer Isoenzyme in *Candida magnoliae* Lu8742 bedingt sein.

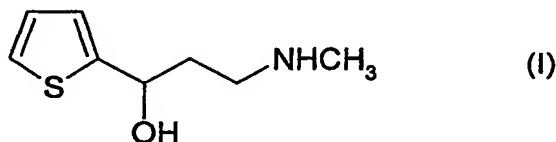
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169

51 TTGCGCGACC ACTGCCCCGCC GTCGGCGCCG TAACCGCTTC GGTGACGGTA
TAAGCTCGCC GAGGAGGGCT ACAGCGTCAC GATTGCGTCT CGCGGCCTTA
ATTCGAGCGG CTCCTCCCGA TGTCGCAGTG CTAACGCAGA GCGCCGGAAT
101 AGCAGCTCGA GGCTGTGAAG GCCAAACTAC CCATTGTGAA GCAGGGACAG
TCGTCGAGCT CCGACACTTC CGGTTTGATG GGTAACACTT CGTCCCTGTC
151 GTTCACCACG TGTGGCAGCT TGATCTCAGT GATGTCGACG CTGCGGCCGC
CAAGTGGTGC ACACCGTCGA ACTAGAGTCA CTACAGCTGC GACGCCGGCG
201 CTTCAAAGGG TCGCCGCTAC CTGCCAGCCG CTACGACGTG CTCGTCAGCA
GAAGTTTCCC AGCGGCGATG GACGGTCGGC GATGCTGCAC GAGCAGTCGT
10 251 ATGCTGGCGT GGCCCAGTTT AGCCCGTTCA TCGAGCATGC GAAGCAGGAC
TACGACCGCA CCGGGTCAAA TCGGGCAAGT AGCTCGTACG CTTCTGTCCTG
301 TGGTCGCAGA TGCTTGCCAT CAATCTGGCG GCACCCATTG CGCTGGCCCA
ACCAGCGTCT ACGAACGGTA GTTAGACCGC CGTGGGTAAC GCGACCGGGT
351 GACATTTGCT AAGGCCATTG GCGACAAGCC GCGCAACACA CCGGCCCACA
CTGTAAACGA TTCCGGTAAC CGCTGTTCGG CGCGTTGTGT GGCCGGGTGT
401 TTGTGTTTGT CTCGTCGAAC GTCTCGTTGC GAGGCTTCCC GAACATCGGC
AACACAAACA GAGCAGCTTG CAGAGCAACG CTCCGAAGGG CTTGTAGCCG
451 GTCAACTCCA TCACCCCCGG CA
CAGTTGAGGT AGTGGGGGCC GT

20

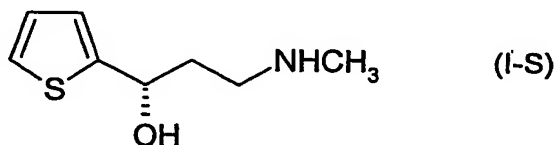
Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I



bei dem man

- a) Thiophen mit einem β -Halogenpropionsäurehalogenid oder einem Acrylsäurehalogenid in Gegenwart einer Lewis-Säure zu einem 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-on umsetzt, wobei man gleichzeitig oder nach erfolgter Umsetzung, jedoch vor der Isolierung des Reaktionsprodukts, einen Halogenwasserstoff einleitet und
- b) das in Schritt a) erhaltene Propanon reduziert und anschließend, gegebenenfalls ohne Isolierung des Reaktionsprodukts mit Methylamin umsetzt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei man in Schritt a) als Lewis-Säure Aluminiumtrichlorid verwendet.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei man die Umsetzung in Schritt a) in einem halogenierten Kohlenwasserstoff als Lösungsmittel durchführt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei man in Schritt b) die Reduktion mit einem Metall- oder Halbmetallhydrid oder mit Wasserstoff in Gegenwart eines Übergangsmetallkatalysators als Reduktionsmittel durchführt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, zur Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I-S



gegebenenfalls im Gemisch mit seinem R-Enantiomer I-R, wobei das Propanol der Formel I-S im Gemisch überwiegt, wobei man die Reduktion in Schritt b) in

2

Gegenwart eines chiralen Reduktionsmittels oder eines chiralen Katalysators durchführt, welche eine Selektivität bezüglich der Bildung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)propan-1-ol aufweisen.

- 5 6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei man in Schritt b) als Reduktionsmittel ein asymmetrisches Metall- oder Halbmethylhydrid oder Wasserstoff in Gegenwart eines asymmetrischen Übergangsmetallkatalysators als Reduktionsmittel verwendet oder wobei man die Reduktion in Gegenwart einer asymmetrischen Induktion vermittelnden Verbindung durchführt.
- 10 7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei man in Schritt b) die Reduktion in Gegenwart einer Dehydrogenase (E.C. 1.1.x.x.) durchführt.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Reduktion in Gegenwart einer Dehydrogenase (E.C. 1.1.1.x) insbesondere in Gegenwart einer Alkohol Dehydrogenase (E.C.1.1.1.1 oder E.C.1.1.1.2) durchgeführt wird.
- 20 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Dehydrogenase ausgewählt ist unter Dehydrogenasen aus Hefen der Gattung *Geotrichum*, *Pichia*, *Candida*, *Hansenula* oder *Saccharomyces* und aus Bakterien der Gattung *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Agrobacterium*, *Rhodococcus* oder *Lactobacillus*.
- 25 10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei die Dehydrogenase ausgewählt ist unter Dehydrogenasen aus *Geotrichum candidum*, *Candida magnoliae* und *Lactobacillus brevis*.
- 30 11. Alkohol Dehydrogenase, mit einer Aminosäuresequenz, die im Bereich des N-Terminus
- 35 a) eine Aminosäureteilsequenz von wenigstens 10 aufeinanderfolgenden *Aminosäureresten* gemäß SEQ ID NO: 1 umfasst, wobei vorzugsweise zusätzlich die der Aminosäureposition 12 gemäß SEQ ID NO:1 entsprechende Position für Valin steht; oder eine
- b) Aminosäureteilsequenz von wenigstens 10 aufeinanderfolgenden *Aminosäureresten* gemäß SEQ ID NO: 2 umfasst;
- sowie die davon abgeleiteten funktional äquivalenten Alkohol Dehydrogenasen.
12. Alkohol Dehydrogenase nach Anspruch 11, welche zur Reduktion von 3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-on zu (S)-3-Chlor-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol befähigt ist.
- 40 13. Alkohol Dehydrogenase nach Anspruch 12, welche die Reduktion in einer Enantiomerenreinheit von wenigstens 85 % ee (in Gegenwart von NADH und/oder NADPH; bei 30°C und pH 6.0) katalysiert.

3

14. Alkohol Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 13, welche von einer Nukleinsäuresequenz, umfassend SEQ ID NO:3, kodiert wird, oder welche eine Aminosäuresequenz gemäß SEQ ID NO: 4 oder wenigstens eine Teilsequenz gemäß Figur 3 umfasst, und vorzugsweise aus *Lactobacillus brevis* erhältlich ist; sowie die davon abgeleiteten funktional äquivalenten Alkohol Dehydrogenasen.
15. Alkohol Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 13, welche von einer Nukleinsäuresequenz, umfassend SEQ ID NO:5, kodiert wird, oder welche eine Aminosäuresequenz, umfassend SEQ ID NO: 6, aufweist, und vorzugsweise aus *Candida magnoliae* (ATCC 12573) erhältlich ist; sowie die davon abgeleiteten funktional äquivalenten Alkohol Dehydrogenasen.
16. Nukleinsäuresequenz, umfassend die kodierende Sequenz für die Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 15, insbesondere gemäß SEQ ID NO: 3 und 5; sowie die davon abgeleiteten Derivate.
17. Expressionskassette, umfassend in operativer Verknüpfung mit wenigstens einer regulativen Nukleinsäuresequenz eine Nukleinsäuresequenz nach Anspruch 15.
18. Rekombinanter Vektor, umfassend wenigstens eine Expressionskassette nach Anspruch 16.
19. Prokaryontischer oder eukaryontischer Wirt, transformiert mit wenigstens einem Vektor nach Anspruch 17.
20. Verwendung der Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 14 oder eines dieser Dehydrogenase produzierenden natürlichen oder rekombinanten Mikroorganismus zur Herstellung von (S)-3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, wobei man als Dehydrogenase die Alkohol Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 14 oder einen dieser Dehydrogenase produzierenden natürlichen oder rekombinanten Mikroorganismus einsetzt.
22. Verfahren zur Herstellung von (S)-3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol der Formel I-S, bei dem man ein 3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-on enantioselektiv reduziert, dadurch gekennzeichnet, dass die Reduktion in Gegenwart einer Dehydrogenase erfolgt.
23. Verfahren nach Anspruch 21, wobei man das bei der Reduktion erhaltene (S)-3-Halogen-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol ohne Isolierung mit Methylamin umsetzt.
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 oder 22, wobei die Dehydrogenase ausgewählt ist unter Dehydrogenasen aus Hefen der Gattung *Geotrichum*, *Pi-*

4

chia, Candida, Hansenula oder Saccharomyces und aus Bakterien der Gattung Pseudomonas, Burkholderia, Agrobacterium, Rhodococcus oder Lactobacillus.

5 25. Verfahren nach Anspruch 23, wobei die Dehydrogenase ausgewählt ist unter Dehydrogenasen aus Geotrichum candidum, Candida magnoliae oder Lactobacillus brevis.

10 26. Verfahren nach Anspruch 21, wobei die Dehydrogenase ausgewählt ist unter Alkohol-Dehydrogenase nach einem der Ansprüche 11 bis 15.

Zusammenfassung

- Die vorliegende Erfindung betrifft enzymatische und nicht-enzymatische Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol; sowie Enzyme zur Durchführung dieser Verfahren; für diese Enzyme kodierende Nukleinsäuresequenzen, diese enthaltende Expressionskassetten, Vektoren und rekombinante Wirte.
- 5

Sequenzprotokoll

<110> BASF Aktiengesellschaft

<120> Verfahren zur Herstellung von 3-Methylamino-1-(thien-2-yl)-propan-1-ol

<130> M/44142

<160> 6

<170> PatentIn version 3.1

<210> 1

<211> 47

<212> PRT

<213> Lactobacillus brevis

<400> 1

Met Ser Asn Arg Leu Asp Gly Lys Val Ala Ile Val Thr Gly Gly Thr
1 5 10 15

Leu Gly Ile Gly Leu Ala Ile Ala Thr Lys Phe Val Glu Glu Gly Ala
20 25 30

Lys Val Met Ile Thr Gly Arg His Ser Asp Val Gly Glu Lys Ala
35 40 45

<210> 2

<211> 18

<212> PRT

<213> Candida magnoliae

M/44142

2

<400> 2

Ser Asn Ala Leu Val Thr Gly Gly Ser Arg Val Ile Gly Ala Gly Gly
 1 5 10 15

Phe Ile

<210> 3

<211> 756

<212> DNA

<213> Lactobacillus brevis

<220>

<221> CDS

<222> (1) .. (756)

<223>

<400> 3

atg tct aac cgt ttg gat gga aaa gta gca atc gtt aca ggt ggt acg 48
 Met Ser Asn Arg Leu Asp Gly Lys Val Ala Ile Val Thr Gly Gly Thr
 1 5 10 15

ttg ggt atc ggt tta gct atc gcc acg aag ttc gtt gaa gaa ggg gct 96
 Leu Gly Ile Gly Leu Ala Ile Ala Thr Lys Phe Val Glu Glu Gly Ala
 20 25 30

aag gtc atg att acc ggc cgg cac agc gat gtt ggt gaa aaa gca gct 144
 Lys Val Met Ile Thr Gly Arg His Ser Asp Val Gly Glu Lys Ala Ala
 35 40 45

aag agt gtc ggc act cct gat cag att caa ttt ttc caa cat gat tct 192
 Lys Ser Val Gly Thr Pro Asp Gln Ile Gln Phe Phe Gln His Asp Ser
 50 55 60

tcc gat gaa gac ggc tgg acg aaa tta ttc gat gca acg gaa aaa gcc 240
 Ser Asp Glu Asp Gly Trp Thr Lys Leu Phe Asp Ala Thr Glu Lys Ala
 65 70 75 80

ttt ggc cca gtt tct aca tta gtt aat aac gct ggg atc gcg gtt aac 288
 Phe Gly Pro Val Ser Thr Leu Val Asn Asn Ala Gly Ile Ala Val Asn
 85 90 95

aag agt gtc gaa gaa acc acg act gct gaa tgg cgt aaa cta tta gcc 336
 Lys Ser Val Glu Glu Thr Thr Thr Ala Glu Trp Arg Lys Leu Leu Ala
 100 105 110

M/44142

3

gtc aac ctt gat ggt gtc ttc ttc ggt acc cga tta ggg att caa cgg 384
Val Asn Leu Asp Gly Val Phe Phe Gly Thr Arg Leu Gly Ile Gln Arg
115 120 125

atg aag aac aaa ggc tta ggg gct tcc atc atc aac atg tct tcg atc 432
Met Lys Asn Lys Gly Leu Gly Ala Ser Ile Ile Asn Met Ser Ser Ile
130 135 140

gaa ggc ttt gtg ggt gat cct agc tta ggg gct tac aac gca tct aaa 480
Glu Gly Phe Val Gly Asp Pro Ser Leu Gly Ala Tyr Asn Ala Ser Lys
145 150 155 160

ggg gcc gta cgg att atg tcc aag tca gct gcc tta gat tgt gcc cta 528
Gly Ala Val Arg Ile Met Ser Lys Ser Ala Ala Leu Asp Cys Ala Leu
165 170 175

aag gac tac gat gtt cgg gta aac act gtt cac cct ggc tac atc aag 576
Lys Asp Tyr Asp Val Arg Val Asn Thr Val His Pro Gly Tyr Ile Lys
180 185 190

aca cca ttg gtt gat gac cta cca ggg gcc gaa gaa gcg atg tca caa 624
Thr Pro Leu Val Asp Asp Leu Pro Gly Ala Glu Glu Ala Met Ser Gln
195 200 205

cgg acc aag acg cca atg ggc cat atc ggt gaa cct aac gat att gcc 672
Arg Thr Lys Thr Pro Met Gly His Ile Gly Glu Pro Asn Asp Ile Ala
210 215 220

tac atc tgt gtt tac ttg gct tct aac gaa tct aaa ttt gca acg ggt 720
Tyr Ile Cys Val Tyr Leu Ala Ser Asn Glu Ser Lys Phe Ala Thr Gly
225 230 235 240

tct gaa ttt gta gtt gac ggt ggc tac act gct caa 756
Ser Glu Phe Val Val Asp Gly Gly Tyr Thr Ala Gln
245 250

<210> 4

<211> 252

<212> PRT

<213> Lactobacillus brevis

<400> 4

Met Ser Asn Arg Leu Asp Gly Lys Val Ala Ile Val Thr Gly Gly Thr
1 5 10 15

Leu Gly Ile Gly Leu Ala Ile Ala Thr Lys Phe Val Glu Glu Gly Ala
20 25 30

Lys Val Met Ile Thr Gly Arg His Ser Asp Val Gly Glu Lys Ala Ala
35 40 45

M/44142

Lys Ser Val Gly Thr Pro Asp Gln Ile Gln Phe Phe Gln His Asp Ser
50 55 60

Ser Asp Glu Asp Gly Trp Thr Lys Leu Phe Asp Ala Thr Glu Lys Ala
65 70 75 80

Phe Gly Pro Val Ser Thr Leu Val Asn Asn Ala Gly Ile Ala Val Asn
85 90 95

Lys Ser Val Glu Glu Thr Thr Thr Ala Glu Trp Arg Lys Leu Leu Ala
100 105 110

Val Asn Leu Asp Gly Val Phe Phe Gly Thr Arg Leu Gly Ile Gln Arg
115 120 125

Met Lys Asn Lys Gly Leu Gly Ala Ser Ile Ile Asn Met Ser Ser Ile
130 135 140

Glu Gly Phe Val Gly Asp Pro Ser Leu Gly Ala Tyr Asn Ala Ser Lys
145 150 155 160

Gly Ala Val Arg Ile Met Ser Lys Ser Ala Ala Leu Asp Cys Ala Leu
165 170 175

Lys Asp Tyr Asp Val Arg Val Asn Thr Val His Pro Gly Tyr Ile Lys
180 185 190

Thr Pro Leu Val Asp Asp Leu Pro Gly Ala Glu Glu Ala Met Ser Gln
195 200 205

Arg Thr Lys Thr Pro Met Gly His Ile Gly Glu Pro Asn Asp Ile Ala
210 215 220

Tyr Ile Cys Val Tyr Leu Ala Ser Asn Glu Ser Lys Phe Ala Thr Gly
225 230 235 240

Ser Glu Phe Val Val Asp Gly Gly Tyr Thr Ala Gln
245 250

<210> 5

<211> 472

M/44142

5

<212> DNA

<213> *Candida magnoliae*

<220>

<221> CDS

<222> (1) .. (471)

<223>

<400> 5

aac gcg ctg gtg acg ggc ggc agc cgc ggc att ggc gaa gcc act gcc	48
Asn Ala Leu Val Thr Gly Gly Ser Arg Gly Ile Gly Glu Ala Thr Ala	
1 5 10 15	
att aag ctc gcc gag gag ggc tac agc gtc acg att gcg tct cgc ggc	96
Ile Lys Leu Ala Glu Glu Gly Tyr Ser Val Thr Ile Ala Ser Arg Gly	
20 25 30	
ctt aag cag ctc gag gct gtg aag gcc aaa cta ccc att gtg aag cag	144
Leu Lys Gln Leu Glu Ala Val Lys Ala Lys Leu Pro Ile Val Lys Gln	
35 40 45	
gga cag gtt cac cac gtg tgg cag ctt gat ctc agt gat gtc gac gct	192
Gly Gln Val His His Val Trp Gln Leu Asp Leu Ser Asp Val Asp Ala	
50 55 60	
gcg gcc gcc ttc aaa ggg tcg ccg cta cct gcc agc cgc tac gac gtg	240
Ala Ala Ala Phe Lys Gly Ser Pro Leu Pro Ala Ser Arg Tyr Asp Val	
65 70 75 80	
ctc gtc agc aat gct ggc gtg gcc cag ttt agc ccg ttc atc gag cat	288
Leu Val Ser Asn Ala Gly Val Ala Gln Phe Ser Pro Phe Ile Glu His	
85 90 95	
gcg aag cag gac tgg tcg cag atg ctt gcc atc aat ctg gcg gca ccc	336
Ala Lys Gln Asp Trp Ser Gln Met Leu Ala Ile Asn Leu Ala Ala Pro	
100 105 110	
att gcg ctg gcc cag aca ttt gct aag gcc att ggc gac aag ccg cgc	384
Ile Ala Leu Ala Gln Thr Phe Ala Lys Ala Ile Gly Asp Lys Pro Arg	
115 120 125	
aac aca ccg gcc cac att gtg ttt gtc tcg tcg aac gtc tcg ttg cga	432
Asn Thr Pro Ala His Ile Val Phe Val Ser Ser Asn Val Ser Leu Arg	
130 135 140	
ggc ttc ccg aac atc ggc gtc aac tcc atc acc ccc ggc a	472
Gly Phe Pro Asn Ile Gly Val Asn Ser Ile Thr Pro Gly	
145 150 155	

6

<210> 6

<211> 157

<212> PRT

<213> Candida magnoliae

<400> 6

Asn Ala Leu Val Thr Gly Gly Ser Arg Gly Ile Gly Glu Ala Thr Ala
1 5 10 15

Ile Lys Leu Ala Glu Glu Gly Tyr Ser Val Thr Ile Ala Ser Arg Gly
20 25 30

Leu Lys Gln Leu Glu Ala Val Lys Ala Lys Leu Pro Ile Val Lys Gln
35 40 45

Gly Gln Val His His Val Trp Gln Leu Asp Leu Ser Asp Val Asp Ala
50 55 60

Ala Ala Ala Phe Lys Gly Ser Pro Leu Pro Ala Ser Arg Tyr Asp Val
65 70 75 80

Leu Val Ser Asn Ala Gly Val Ala Gln Phe Ser Pro Phe Ile Glu His
85 90 95

Ala Lys Gln Asp Trp Ser Gln Met Leu Ala Ile Asn Leu Ala Ala Pro
100 105 110

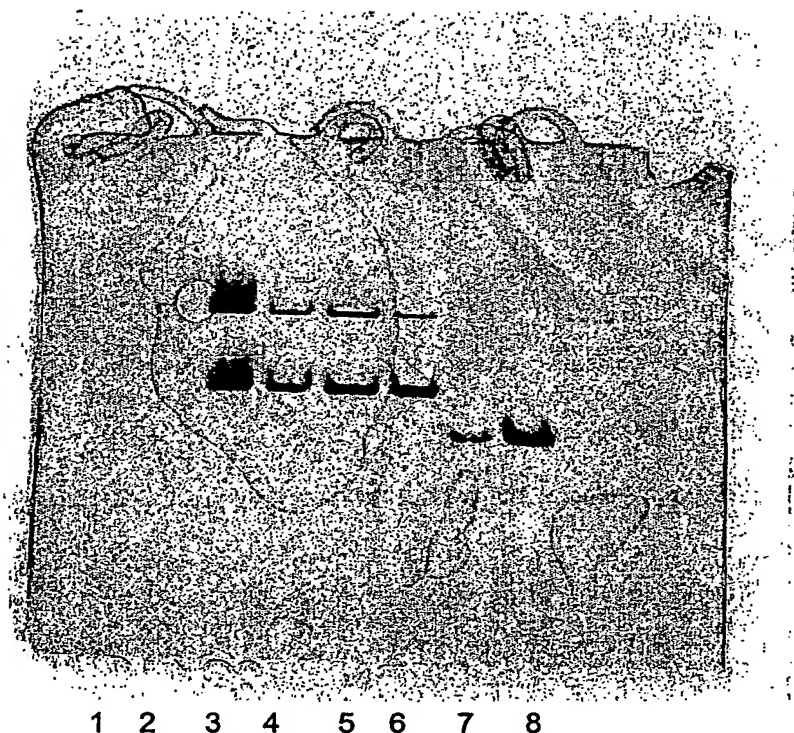
Ile Ala Leu Ala Gln Thr Phe Ala Lys Ala Ile Gly Asp Lys Pro Arg
115 120 125

Asn Thr Pro Ala His Ile Val Phe Val Ser Ser Asn Val Ser Leu Arg
130 135 140

Gly Phe Pro Asn Ile Gly Val Asn Ser Ile Thr Pro Gly
145 150 155

1/8

Fig. 1



1 2 3 4 5 6 7 8

2/8

Fig. 2A

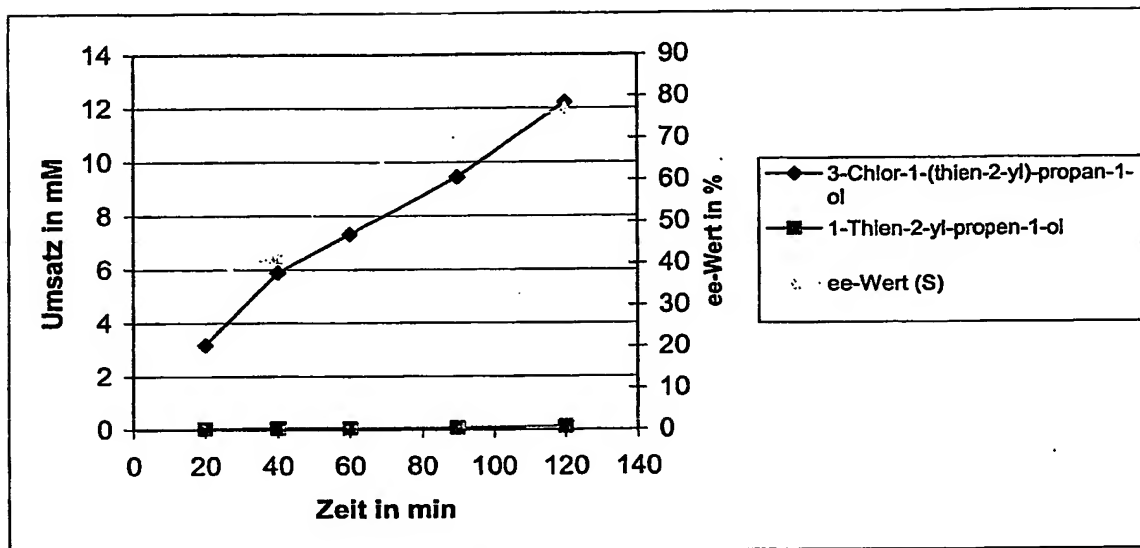
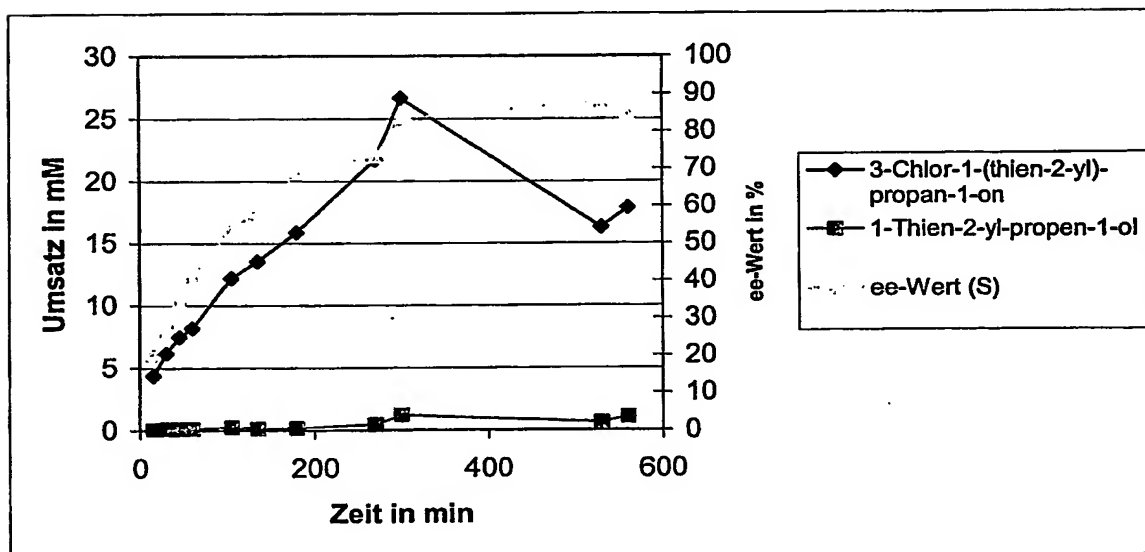


Fig. 2B



3/8

Fig. 3A

31278/165 Blotbande 1 - LU 10288 (N-terminus)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
S	N	R.	L	D	G	K	V	A	I	V	T	G	G	T	L	G	I	G	L	A	I	A	T	K
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
F	V	E	E	G	A	K	V	M	I	T	G	R	H	S	D	V	G	E	K	A	A K	(K) (A)	S	V
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60															
G	T	P T	D	Q	I	Q	F	F V G N	/															

4/8

Fig. 3B

1. Tryptischer Flüssigverdau Fr. 34 WP Mono P 31279/170Tr.-Sp.-RP Fr. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T	P	L	V	D	D	L	P	G	A	E	E	A	M	S	Q	R	(R)	/	/
S	V	G	T	P	E	Q	I	Q	F	F	Q	H	D	R					
F	A	T		S	I	F	V	K				Y	T						
						A		P											

Tr.-Sp.-RP Fr. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S	V	E	E	T	T	T	A	E	(W)	R	/	/	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S	V	G	T	P	D	Q	J	Q	F	F	Q	H	D	S	S	D	E	D	G

Tr.-Sp.-RP Fr. 4 (3/4 von Filter)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>V</u>	<u>N</u>	<u>I</u>	<u>V</u>	<u>H</u>	<u>P</u>	<u>G</u>	<u>Y</u>	<u>J</u>	<u>K</u>	/	/	/	/	/
L	F	D	A	T	E	K	/	/	/	/	/	/	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 4 (1/4 von Filter)

1	2	3	4
<u>V</u>	<u>N</u>	<u>I</u>	<u>V</u>
L	F	D	A

Tr.-RP Fr. 3

1	2	3	4	5	6	7
<u>A</u>	<u>E</u>	<u>I</u>	<u>P</u>	<u>G</u>	<u>K</u>	<u>R</u>
V	M		Q	Y		N
I						
L,S						

5/8

Tr.-Sp.-RP Fr. 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(S)	A	A	L	D	/	A	L	K	/	/	/	/	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<u>S</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>D</u>	/	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>K</u>	<u>D</u>	<u>Y</u>	/	<u>V</u>	<u>R</u>	/	/	/	/
F	(A)	T	G	S	E	F	V	V	(D)	G	G	Y	T	A	Q	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<u>S</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>D</u>	/	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>K</u>	/	/	/	/	/	/	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
K	L	L	A	V	N	L	D	G	V	F	F	G	T	R	/	/	/	/	/

Tr.-Sp.-RP Fr. 2

1	2	3	4	5	6
/	M	/	T	G	R

Tr.-Sp.-RP Fr. 27

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>I</u>	<u>K</u>	<u>I</u>	<u>P</u>	<u>M</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>	/	<u>E</u>	<u>P</u>	<u>N</u>	/	<u>I</u>	<u>A</u>
S	A	A	L	D	G	A	L	K	D	Y	D	V	R	/
F	A	T	G	S	E	F	V	V	D	G	G	Y	T	A

Tr.-Sp.-RP Fr. 28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>I</u>	<u>K</u>	<u>I</u>	<u>P</u>	<u>M</u>	<u>G</u>	?	<u>I</u>	(A)	E	(P)	(N)	(D)	<u>I</u>	<u>A</u>	Y	/	/	/	/
F	A	T	G	S	E	F	V	V	D	G	G	Y	T	A	Q				
S	A	A	L	D	(C)	A	L	K	D	Y	D	V	R	/					

8/8

V8-RP Fr. 21

[illegible]

V8-RP Fr. 41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W	/	K	L	L	A	V	N	L	D	G	V	F	F	G	T	R	L	G	I
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Q	R	M	K	N	K	G	L	G	A	S	I	I	N	M	(S)	(S)	(I)	/	/

V8-RP Fr. 43

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>(A)</u>	<u>M</u>	<u>S</u>	<u>Q</u>	<u>R</u>	<u>I</u>	<u>K</u>	<u>I</u>	<u>P</u>	<u>M</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>I</u>	<u>(G)</u>	<u>E</u>	<u>P</u>	<u>N</u>	<u>D</u>	<u>I</u>	<u>A</u>
		K	L	L	A	V	N	L	D	G	V	F	F	G	T	R	L	G	I
		A	K	S	V	G			A	Q	I	A							
			E							Y	N	Q							
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
<u>Y</u>				<u>Y</u>		<u>A</u>													
Q	R	M	K	N	K	G	L	G	A	S	I	I	N	M	S				G

V8-RP Fr. 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S	K	F	A	T	G	S	E	F	V	V	/	/	/	/

V8-RP Fr. 15

[illegible]

7/8

V8-RP Fr. 26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>D</u>	<u>G</u>	/	<u>T</u>	<u>K</u>	<u>L</u>	<u>E</u>	<u>D</u>	<u>A</u>	<u>I</u>	<u>E</u>	<u>(E)</u>	/	/	/	/	/	/	/	/
R	K	(L)	K	D	A		E	D											
	Y	(F)		P															

V8-RP Fr. 7 (C-Terminus)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
F	V	V	D	G	G	Y	T	A	Q	/	/	/	/

V8-RP Fr. 28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
/	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>K</u>	<u>D</u>	<u>Y</u>	<u>D</u>	<u>V</u>	<u>R</u>	<u>V</u>	<u>N</u>	<u>I</u>	<u>V</u>	<u>H</u>	<u>P</u>	<u>G</u>	<u>Y</u>	<u>I</u>	<u>K</u>	<u>I</u>
	S																		
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
<u>P</u>	<u>L</u>	<u>V</u>	<u>(V)</u>	<u>D</u>	<u>L</u>	<u>P</u>	<u>G</u>	<u>A</u>	<u>E</u>										
			D						(G)										

V8-RP Fr. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K	A	A	K	S	V	G	T	P	D	Q	I	Q	F	F

V8-RP Fr. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
G	A	K	V	M	I	T	G	R	H	S	D	V

V8-RP Fr. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<u>S</u>	<u>K</u>	<u>E</u>	<u>A</u>	<u>I</u>	<u>G</u>	<u>S</u>	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>V</u>
A		G		F	V	Y	L		
				I					

6/8

2. V8-Flüssigverdau Fr.34 WP Mono P 31279/170**V8-RP Fr. 30**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
K	A	A	K	S	V	G	T	P	D	Q	I	Q	F	F	Q	H	D	S	S	P	E	(V)	(V)	(Q)
T	G	L	F	L		V	L	R	V	A	T	V		P	G	Y	I	K	A	T		A	N	
Q				R			V		N	E								D						

V8-RP Fr. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
/	<u>V</u>	<u>K</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>A</u>	<u>V</u>	<u>N</u>	<u>L</u>	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	K			A				I											
	R							D											

V8-RP Fr. 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>T/G</u>	<u>V</u>	<u>E</u>	<u>E</u>	<u>(G)</u>	<u>L</u>	<u>K</u>	<u>Q</u>	<u>N</u>	<u>I</u>	<u>E</u>	<u>N</u>	<u>I</u>	<u>N</u>	<u>I/N</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>V</u>	<u>R</u>	<u>(P)</u>
V		V	N	T	V	H	P	G	Y	I	K	T	P	L	M	D	D	D	
											D				G			L	
															V				

V8-RP Fr. 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
<u>G</u>	<u>E</u>	<u>V</u>	<u>G</u>	<u>D</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>L</u>	<u>G</u>	<u>A</u>	<u>Y</u>	<u>N</u>	<u>A</u>	<u>G</u>	<u>K</u>	<u>G</u>	<u>A</u>	<u>V</u>	<u>R</u>	<u>I</u>
Q	V	L		A	Q	N	M	K	N	G	G	L	S	A	M	I	K	N	M
T	S			I	Y	R	A		K	K	A	V	R	I	S				A
P						K													
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30										
<u>M</u>	<u>S</u>	<u>K</u>	<u>S</u>	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>L</u>	<u>(D)</u>	/	/										

V8-RP Fr. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	V	V	D	/	/	/	/	/	/